

Aus der Klinik für Psychiatrie und Psychotherapie,
Universitätsklinikum des Saarlandes, Homburg/Saar

Visuell evozierte ereigniskorrelierte Potentiale in Abhängigkeit von Reizkomplexität

Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin

der Medizinischen Fakultät

der UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

2012

vorgelegt von Sarah Katharina Lerch,
geboren am 23.09.1982 in Saarbrücken

Für meine Eltern

Inhalt

1. Zusammenfassung/Summary.....	5
2. Einleitung und Fragestellung	9
2.1. Erläuterungen zu ereigniskorrelierten Potentialen (EKP)	9
2.1.1. Allgemeines	9
2.1.2. Komponenten.....	11
2.1.3. Einflussvariablen.....	16
2.1.4. EKP und psychiatrische Forschung	20
2.2. Fragestellung.....	25
2.2.1. Zielsetzung.....	25
2.2.2. Replikation und Erweiterung einer Voruntersuchung	26
2.2.3. Generierung einer Kontrollgruppe.....	27
3. Methodik und Auswertung	29
3.1. Methodik.....	29
3.1.1. Probanden	29
3.1.2. Durchführung der Untersuchung.....	30
3.1.3. Versuchsablauf	39
3.2. Auswertung	43
3.2.1. Allgemeines	43
3.2.2. Programmschritte.....	43
3.2.3. Signifikanzberechnung nach Blair und Karniski	45
4. Ergebnisse	47
4.1. Allgemeine Erläuterungen	47
4.2. Ergebnisse Gesamtgruppe.....	49
4.2.1. BAW.....	49
4.2.2. Target-Nontarget.....	52
4.2.3. Bewert.....	55
4.3. Kurvenvergleiche.....	56
4.3.1. BAW.....	56
4.3.2. TNT	59
4.4. Geschlechtsspezifische Aspekte	61
4.4.1. Allgemeines	61

4.4.2.	Vergleich männlicher und weiblicher Probanden in der BAW-Studie	61
4.4.3.	Vergleich männlicher und weiblicher Probanden in der TNT-Studie	64
4.4.4.	Zusammenfassung	66
4.5.	Zusammenfassung	67
4.5.1.	BAW	67
4.5.2.	TNT	69
5.	Diskussion	70
5.1.	BAW	70
5.1.1.	Komponenten und Signifikanzen	70
5.1.2.	Zusammenfassende Interpretation	74
5.2.	TNT und Bewert	77
5.2.1.	Einordnung in den Kontext der BAW-Studie	77
5.2.2.	Interpretatorische Ansätze	78
5.3.	Klinische Aspekte und Ausblick	80
5.3.1.	Relevanz im psychiatrischen Kontext	80
5.3.2.	Mögliche weitere Fragestellungen	81
6.	Literaturverzeichnis	83
7.	Anhang	92
7.1.	Ergebnisdaten	92
7.2.	Formulare	109
7.2.1.	Aufklärung	109
7.2.2.	Datenblatt	110
7.2.3.	Fragebogen zur Händigkeit	111
7.2.4.	Ergebnisdokumentation	112
8.	Danksagung	113
9.	Lebenslauf	114

Abbildungsverzeichnis

Abbildung	Bezeichnung	Seite
Abb. 2.1.	Schematische Darstellung des Verlaufs ereigniskorrelierter Potentiale bei der Aufnahme und Verarbeitung eines visuellen Reizes	11
Abb. 3.1.	Schematische Darstellung der Ableitungspunkte des 10-20-Systems	31
Abb. 3.2.	Schematische Darstellung des Signalfusses	32
Abb. 3.3.	Bild Schachbrettmuster, 21x16 Quadrate	34
Abb. 3.4.	Beispielbilder Muster	35
Abb. 3.5.	Beispielbilder Buchstabe	36
Abb. 3.6.	Beispiel für den Ablauf im Bewert-Programm	37
Abb. 3.7.	Schachbrett mit Orientierungsquadrat	37
Abb. 3.8.	Räumliche Anordnung der Untersuchung	39
Abb. 3.9.	„BrainVision Analyzer“-Programmabfolge	43
Abb. 4.1.	EKP beim Stimulus „Schachbrett“	50
Abb. 4.2.	EKP beim Stimulus „Muster“	51
Abb. 4.3.	EKP beim Stimulus „Buchstabe“	52
Abb. 4.4.	EKP beim Stimulus „Target“	53
Abb. 4.5.	EKP beim Stimulus „Nontarget“	54
Abb. 4.6.	EKP Schachbrett versus Muster	57
Abb. 4.7.	EKP Schachbrett versus Buchstabe	58
Abb. 4.8.	EKP Muster versus Buchstabe	59
Abb. 4.9.	EKP Target versus Nontarget	60
Abb. 4.10.	Vergleich Frauen und Männer beim Stimulus „Schachbrett“	62
Abb. 4.11.	Vergleich Frauen und Männer beim Stimulus „Muster“	63

Abb. 4.12.	Vergleich Frauen und Männer beim Stimulus „Buchstabe“	64
Abb. 4.13.	Vergleich Frauen und Männer beim Stimulus „Target“	65
Abb. 4.14.	Vergleich Frauen und Männer beim Stimulus „Nontarget“	66
Abb. 4.15.	Schematische Darstellung von Überlagerungseffekten bei Differenzkurven	68

1. Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit den ereigniskorrelierten Potentialen gesunder Probanden, welche durch sich in ihrer Komplexität unterscheidende visuelle Stimuli hervorgerufen werden. Darüber hinaus ermöglicht die Ergänzung durch zwei weitere Teilaufgaben neben der Beleuchtung dieser Reaktionen die Bildung einer Kontrollgruppe, wodurch in weiterführenden Studien durch ein Aufgreifen dieser Ergebnisse ein Vergleich mit verschiedenen Patientenkollektiven erfolgen kann.

Untersucht wurden 16 männliche und 15 weibliche Probanden¹ im Alter zwischen 20 und 51 Jahren mit einem Altersdurchschnitt von 27 Jahren. Als Stimuli im Hauptteil der Untersuchung wurden im Wechsel ein regelmäßiges Schachbrettmuster als neutraler, „einfachster“ Reiz, unregelmäßige Muster als intermediärer Stimulus sowie Muster, in denen ein Buchstabe zu erkennen war, als komplexester Reiz präsentiert. Die Stimuli erschienen nacheinander in unregelmäßiger Reihenfolge auf einem Bildschirm und wurden vom Probanden jeweils durch einen Mausklick bestätigt. Im zweiten Teil der Untersuchung sollte der Proband angeben, ob er in einem Muster einen Buchstaben erkennen konnte. Hierdurch wurde die Vergleichbarkeit der Probanden gewährleistet. Den dritten Teil der Untersuchung bildete das sogenannte Target-Nontarget-Programm. Hier wurde dem Probanden die Aufgabe gestellt, zu zählen, wie oft sich eine Hälfte eines auf dem Bildschirm gezeigten Schachbrettmusters änderte, ohne die Veränderungen der anderen Bildschirmhälfte zu berücksichtigen.

Erfasst wurden die ereigniskorrelierten Potentiale der Probanden an den zur Ableitung nach dem 10-20-System (Jasper, 1958) standardisierten Orten F3, C3, P3, Fz, Cz, Pz, F4, C4 sowie P4. Die weitere computergestützte Verarbeitung der Daten ermöglichte neben der Darstellung der gemittelten Potentialkurven die Bildung von Differenzkurven sowie die Signifikanzberechnung von Kurvenverläufen.

¹ Im Folgenden wird der Begriff Probanden für weibliche und männliche Versuchspersonen gleichermaßen verwendet

Die Betrachtung der Ergebnisse zeigt, dass sich entsprechend der Arbeitshypothese die ereigniskorrelierten Potentiale gesunder Probanden in Abhängigkeit von der Komplexität verschiedener Reize unterscheiden. Die Potentialkurven unter den genannten drei Bedingungen weisen eine grundsätzliche Parallelität auf, lassen jedoch signifikante Unterschiede in der Ausprägung einzelner Komponenten erkennen.

Als besonders prägnant seien eine negative Komponente im Bereich um 450 ms sowie die langsamen positiven Potentiale erwähnt. Diese negative Komponente bei 450 ms wird bei den beiden komplexeren visuellen Stimuli evoziert, d.h. beim unregelmäßigen Muster und beim Buchstaben-Reiz. Durch das Erkennen eines Buchstabens scheint außerdem ein komplexes kognitives System im Sinne einer „semantischen Informationsverarbeitung“ aktiviert zu werden. Dies zeigt sich in den bei etwa 200 ms beginnenden, anhaltenden positiven Potentialen. Dies führt beim Vergleich der evozierten Kurvenverläufe teilweise zu einer Überlagerung von Effekten. So ist die negative Komponente bei 450 ms, die in dieser Arbeit mit N450 benannt wird, in die jeweiligen Kurvenverläufe eingebettet.

Die Betrachtung der geschlechtsspezifischen Aspekte zeigt generell die Tendenz höherer Potentiale der weiblichen Probanden, wobei diese Unterschiede aber (noch) nicht wesentlich signifikant wurden.

Die Ergebnisse bestätigen die in einer Voruntersuchung gemachten Beobachtungen. Die Vervollständigung dieser Studie durch die Ergebnisse der beiden ergänzenden Teilaufgaben ermöglicht in Zukunft die Verwendung der Daten bezüglich vergleichender Studien mit verschiedenen Patientengruppen.

Summary

The present study examines event-related potentials of healthy subjects, which are evoked by visual stimuli that differ in their complexity. Besides illuminating this reaction, the addition of two further subtasks additionally allows the formation of a control group, through which further studies can be followed by relating to the results and by comparing different patient collectives.

16 male and 15 female participants of the age between 20 and 51 with an average age of 27 have been examined. In the main part of the examination, a regular chess pattern has been used as neutral, most 'simple' stimuli in alteration with an irregular pattern as intermediate stimuli as well as patterns, in which one could observe a letter as most complex stimuli. The stimuli would occur on a screen successively in irregular order and would be confirmed by the subject through mouse clicks. In the second part of the examination the subject was asked whether he could see a letter in a pattern. This guaranteed the comparability of the subjects. The third part of the examinations was formed by the so called target-nontarget-programme. The subjects had the task to count how often the chess pattern in one half of the screen would change, without taking the changes on the other half of the screen into consideration.

The event-related potentials were marked according to the derivation of the 10-20-System (Jasper, 1958) standardized locations F3, C3, P3, Fz, Cz, Pz, F4, C4 as well as P4. Computers were used to process the data which made the formation of averaged potential curves possible and besides difference curves as well as the calculation of significance of curve progressions were representable.

The analysis of the results shows that according to the working hypothesis the event-related potentials of healthy subjects differ depending of the complexity of different stimuli. The potential curves show a basic parallelism under the three given conditions, however there are clear and significant distinctions in their specification of single components to be seen.

A negative component in the area about 450 ms as well as the slow positive potentials should be mentioned as especially salient. This negative component at 450 ms has been evoked under both complex visual conditions, which mean the irregular pattern and the letter stimuli. Through the recognition of a letter, a complex cognitive system is initiated as defined by a “semantic information process”. This can be seen in the slow positive prolonged potentials which start at 200 ms. In the comparison of the evoked potential curves this leads to a covering of effects. So the negative component at 450 ms, in this study specified as the N450, is embedded in the different potential curves.

The observation of sex specific aspects shows generally a tendency to higher potentials of female subjects. But this does not (yet) leads to relevant significances.

The results confirm the observations of a pilot survey. The completion of the study through the two subtasks allows in the future the use of the data in comparative studies with different patient groups.

2. Einleitung und Fragestellung

2.1. Erläuterungen zu ereigniskorrelierten Potentialen (EKP)

2.1.1. Allgemeines

Bei ereigniskorrelierten Potentialen (EKP) handelt es sich um geringe Potentialschwankungen im Elektroenzephalogramm (EEG), die zeitlich an ein sensorisches, kognitives oder motorisches Ereignis gekoppelt sind. Die an der Hirnoberfläche abgeleiteten Potentiale stellen elektrische Spannungsdifferenzen dar und werden in ihrem zeitlichen Verlauf als Kurven im Mikrovoltbereich dargestellt. Um die reizabhängigen Amplitudenveränderungen sichtbar zu machen, müssen die EEG-Kurven durch eine Mittelungstechnik (Average-Bildung) auf das jeweilige Ereignis bezogen summiert und gemittelt werden. So kann das zufällige „Hintergrundrauschen“ des EEGs herausgefiltert werden. Diese Technik setzt die Digitalisierung der Daten voraus.

Die EKP setzen sich aus einer Reihe von positiven und negativen Wellen zusammen, die in einem spezifischen zeitlichen Abstand zum auslösenden Stimulus auftreten (Hoffrogge, 2003). Diese Potentialgipfel lassen sich nach unterschiedlichen Gesichtspunkten klassifizieren. Üblich ist hierbei eine Unterteilung in frühe und späte Komponenten (vgl. Rösler, 1982). Die frühen oder auch so genannten exogenen Komponenten umfassen den Zeitraum zwischen Reizdarbietung und etwa 100 Millisekunden (ms) danach. In diesem Zeitintervall sind die Reaktionen des Gehirns und die abgeleiteten Potentiale hauptsächlich durch die physikalischen Eigenschaften des Reizes bestimmt und treten vorwiegend in den jeweiligen Projektionsgebieten des Kortex auf. So spricht man je nach Reiz von visuell evozierten Potentialen (VEP), somatosensibel evozierten Potentiale (SSEP) oder akustisch evozierten Potentialen (AEP) (Lowitzsch et al., 1993).

Sind die typischen Reaktionszeiten auf einen bestimmten Reiz verlängert, so kann dies auf eine verlangsamte zentrale Nervenleitgeschwindigkeit hindeuten. So kann beispielsweise die Messung der visuell evozierten Potentiale in der Differenzialdiagnostik der Multiplen Sklerose eingesetzt werden (Turker et al., 2008). Ebenso gibt es Ansätze bezüglich der Diagnostik und Verlaufsbeobachtung bei Morbus Wilson (Ecevit et al., 2012).

Die späten oder auch so genannten endogenen Komponenten der Potentiale beginnen ab ca. 100 ms nach Reizdarbietung. Diese Teile werden auch ereigniskorrelierte Potentiale im engeren Sinn oder event-related potentials (ERPs) genannt. Hier wird von einem starken Einfluss kognitiver Faktoren sowie informationsverarbeitender Prozesse ausgegangen. Die physikalischen Eigenschaften des Reizes sind hierbei von untergeordneter Bedeutung. Daher sind auch die topographischen Verteilungsmuster diffuser als bei den exogenen Komponenten.

Im Gegensatz zu bildgebenden Verfahren wie z.B. MRT, PET oder CT liegt der große Vorteil dieser Methode in der hohen zeitlichen Auflösung. Zur Beobachtung von Prozessen, die eine höhere räumliche Auflösung erfordern, ist sie jedoch ungeeignet. Eine Kombination der verschiedenen Verfahren wäre unter Forschungsgesichtspunkten wünschenswert, ist allerdings technisch schwer zu realisieren. Dennoch gab es bisher einige Versuche, beide Verfahren in ein Studiendesign zu integrieren (Lawson et al., 2012; Casarotto et al., 2008; Haenschel et al., 2007; Johnston et al., 2005; Ford et al., 2004; Meisenzahl et al., 2004). Hierbei wurden die Methoden nacheinander angewendet. So kombinierten z.B. Casarotto et al. (2008) die Verfahren, indem sie bei ihren Probanden zunächst eine EKP-Ableitung durchführten und anschließend fMRI-Bilder aufnahmen. Bei beiden Verfahren hatten die Probanden dieselbe Aufgabe zu erfüllen, die im Lesen von Buchstaben bestand. Allerdings muss hier die Frage gestellt werden, ob bei den fMRI-Aufnahmen bereits ein Gewöhnungseffekt eingetreten sein könnte. Dies wurde von den Autoren nicht als Störvariable berücksichtigt. Lawson et al. (2012)

versuchten dieses Problem zu umgehen, indem mit Gedächtnisinhalten gearbeitet wurde.

2.1.2. Komponenten

Je nach auslösendem Reiz ergeben sich typische Potentialverläufe. Da in der vorliegenden Untersuchung mit visuellen Reizen gearbeitet wurde, bezieht sich die folgende Abbildung auf einen optischen Auslöser:

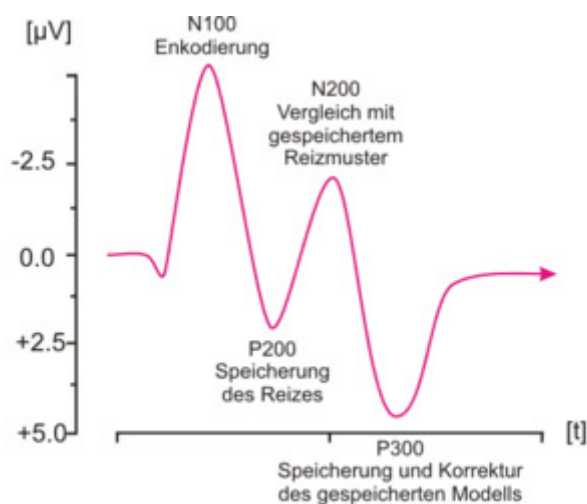


Abb. 2.1: Schematische Darstellung des Verlaufs ereigniskorrelierter Potentiale bei der Aufnahme und Verarbeitung eines visuellen Reizes (Birbaumer und Schmidt, 2006)

Bei der Beschreibung einzelner Komponenten von EKP-Kurvenverläufen unterscheidet man je nach Auslenkung positive von negativen Komponenten. Des Weiteren betrachtet man die ungefähre Latenz nach dem Reiz.

Heinz (1995) konnte zeigen, dass die EKP-Kurven verschiedener Menschen zwar von ihren Grundkomponenten denselben Aufbau haben, jedoch große interindividuelle Unterschiede zu finden sind. Er vergleicht dies mit Gesichtern: Auch

hier gibt es trotz grundsätzlicher Ähnlichkeit in Form und Aufbau große Unterschiede in der jeweiligen Ausprägung.

Van Beijsterveldt und Van Baal (2002) untermauerten diese Idee mithilfe einer Zwillingsstudie insofern, als dass genetische Faktoren signifikant an den individuellen Verläufen in EEG und EKP mitwirken. Korrespondierend mit dieser Vorstellung untersuchten Van Beijsterveldt et al. (2001) die Ursachen der Ähnlichkeit der P300 bei Zwillingspaaren. Er fand hierbei einen geschlechtsspezifischen Effekt: Während bei den männlichen Probanden die Ähnlichkeit auf genetische Faktoren zurückzuführen war, zeigten sich bei den weiblichen Versuchspersonen die Umweltfaktoren als determinierende Variable.

Im Folgenden sollen wichtige Komponenten der EKP kurz vorgestellt werden.

2.1.2.1. Der N100-P200-Komplex

Wie Eschrich (2006) zusammenfasste, erklärte bereits Sokolov 1975 die Komponenten N100 und P200 als ein Korrelat einer Orientierungsreaktion. Rockstroh (1989) stellte die Vermutung auf, dass beide Komponenten miteinander im Zusammenhang stehen und sprach daher von einem Komplex (Rockstroh, 1989). Die N100 lässt sich am stärksten über dem jeweiligen, vom Reiztyp abhängigen Projektionsgebiet des Kortex ableiten und repräsentiert einen Abgleich des Stimulus mit bekannten Inhalten. Somit spiegeln sich sowohl endogene als auch exogene Anteile in dieser Komponente wider. Beobachtet wurden neben einer möglichen Habituation bei Wiederholung von Reizen (Stöhr, 1996) auch eine aufmerksamkeitsgekoppelte Steigerung der N100 (Hillyard, 1973). Die P200 gehört zu den bisher wenig untersuchten Komponenten der ereigniskorrelierten Potentiale. Möglicherweise repräsentiert sie, ähnlich der N100, die Suche nach bekannten Merkmalen des Reizes (Eschrich, 2006) oder eine erste Gedächtnisspeicherung (Schmidt und Birbaumer, 2006).

2.1.2.2. Positive Komponenten

2.1.2.2.1. P100-Komponente

Die P100-Komponente ist aufgrund ihrer Latenz von ca. 100 ms noch stark von exogenen Faktoren geprägt. Jedoch wiesen Ito et al. (1992) nach, dass die Amplitude der P100 höher ausfällt, wenn in einer Reihe von Ziel- und Standardreizen die Frequenz der Zielreize niedrig ist. Außerdem ist eine Amplitudenerhöhung durch gesteigerte Aufmerksamkeit nachweisbar (Altenmüller, 1996).

2.1.2.2.2. P300-Komponente

Unter den positiven Komponenten kommt der P300-Welle die größte Bedeutung zu. Sie tritt zwischen 300 und 400 ms auf und kann mit einer Amplitudenhöhe von 5-50 μ V sehr unterschiedlich ausgeprägt sein (Patel und Azzam, 2005). Diese auch P3 genannte Welle wurde erstmalig 1965 von Sutton et al. beschrieben. Hierbei wurden Probanden zwei aufeinander folgende Reize präsentiert. War den Versuchspersonen nicht bekannt, welcher Art der zweite Reiz sein würde, zeigte sich eine größere Potentialwelle als bei Durchgängen, bei denen dies den Probanden bekannt war. Wie Sutton et al. 1967 zeigen konnten, kann die P300 auch hervorgerufen werden, wenn der zweite Reiz unerwarteter Weise ausbleibt. Somit kann davon ausgegangen werden, dass die P300 weniger von exogenen, als vielmehr von endogenen Faktoren bestimmt wird.

2.1.2.3. Negative Komponenten

2.1.2.3.1. N200-Komponente

Die N200 wird, als relativ frühe Komponente der EKP, als ein Ausdruck kognitiver Identifikations- und Unterscheidungsprozesse angesehen (Hoffman, 1990). Besonders zu erwähnen ist hierbei die „Mismatch-Negativität“ (MMN). Dieses Potential zeigt sich, wenn in einer Serie von Stimuli plötzlich ein neuer Reiz auftritt (Näätänen et al., 1978; Näätänen und Picton, 1986). Da das Potential größer ist, wenn der Proband nicht auf die Reizserie achtet, wird dieser Komponente eine Rolle in passiven Diskriminationsprozessen beigemessen (Sams et al., 1985).

Sumich et al. (2006) fanden Hinweise darauf, dass es bei subklinisch depressiven Patienten zu Veränderungen in der Ableitung der N200 kommt. Während es bei gesunden Kontrollpersonen zu einer zentralen Asymmetrie (rechts > links) kam, war dies bei den Patienten aufgehoben. Sie werteten dies als Hinweis auf die Mitbeteiligung kognitiver Mechanismen an depressiver Symptomatik.

2.1.2.3.2. N400-Komponente

Bei Untersuchungen zu Sprachverarbeitungsprozessen entdeckten Kutas und Hillyard (1980) ein negatives Potential, das sein Spannungsmaximum etwa 400 ms nach Beginn der Stimulusdarbietung zeigte. Diese N400 trat in ihrem Experiment immer dann auf, wenn am Ende eines dargebotenen Satzes ein Wort erschien, welches nicht in den Zusammenhang passte (z.B. „Ich trinke Kaffee mit Milch und *Haus*.“). Die Untersucher interpretierten die N400 als Zeichen für die Unterbrechung einer semantischen Satzverarbeitung.

In weiteren Experimenten konnte gezeigt werden, dass die N400 nicht nur auftritt, wenn am Ende eines Satzes ein unpassendes Wort auftaucht, sondern auch, wenn

an anderen Stellen ein semantisch nicht verwandtes Wort dargeboten wurde. (Kutas et al., 1993)

Holcomb und Neville (1990) konnten die N400 auch bei Priming-Experimenten nachweisen. „Priming“ bedeutet in diesem Zusammenhang eine semantische Bahnung, d.h. dass ein Wort erleichtert verarbeitet wird (Neely, 1977). In dem Satz „Im Zimmer steht ein Tisch mit Stuhl“ wird das Wort „Stuhl“ durch das Wort „Tisch“ gebahnt, also „geprimet“. Bei gebahnten Wörtern fiel die N400 kleiner aus als bei nicht gebahnten und „Nicht-Wörtern“. Diesen Effekt konnten sie für visuelle und auditive Stimuli nachweisen.

In bildgebenden Verfahren wie PET und fMRI konnte gezeigt werden, dass die hämodynamischen Aktivitäten bei gebahnten Reizen geringer waren als bei nicht-gebahnten (Henson, 2003). West et al. (2003) bestätigten vorhergehende Befunde, nach denen die N400 größer bei nicht-gebahnten Begriffen ist. Interpretiert wurden die Befunde folgendermaßen: Durch Informationsbereitstellung aus dem impliziten Gedächtnis (Buckner und Koutstaal, 1998), hervorgerufen durch den Priming-Vorgang, verringern sich die neuronalen Aktivierungen (Henson, 2003).

Holcomb und Neville vermuteten, dass die N400 eine Sprachspezifität aufweist. Dies wurde von Besson und McCar (1987) untermauert. Sie spielten ihren Probanden bekannte Musikstücke vor und versahen diese teilweise mit einem nicht passenden Schlusston. Hier entstand keine N400. Andere Untersuchungen stellen diese Vermutung allerdings in Frage. So konnten Barrett und Rugg (1990) die N400 in einem Experiment mit Bildern nachweisen.

Die vorliegenden Daten lassen den vorsichtigen Schluss zu, dass die N400 nicht nur eine Abbildung kognitiver Prozesse auf der Grundlage des Inputprozesses darstellt, sondern auch abhängig von später auftretenden Prozessen (z.B. Verarbeitungsprozessen) zu sein scheint. (Osterhout und Holcomb, 1995)

2.1.2.4. Langsame Potentiale

Mit dem Begriff „langsame Potentiale“ bzw. „slow waves“ bezeichnet man Prozesse, die den bei der Beobachtung von EKP gewöhnlicherweise beachteten zeitlichen Rahmen überschreiten. Sie dauern meist über eine Sekunde und werden als Manifestation komplexer kognitiver Verarbeitungsprozesse betrachtet. (Altenmüller, 1996)

2.1.3. Einflussvariablen

Im Folgenden sollen nun einige Einflussfaktoren dargestellt werden, zu denen eine Vielzahl von Untersuchungen durchgeführt wurden. Einschränkend sollte jedoch angemerkt werden, dass eine Vergleichbarkeit der verschiedenen Studien nicht immer gegeben ist, da sich Differenzen in Begrifflichkeiten, Definitionen und Interpretation finden (Gaillard, 1988). Von den vielfältigen Einflüssen auf die verschiedenen EKP-Komponenten sind jeweils nur einige Aspekte hervorgehoben.

2.1.3.1. Alter

Um das Alter als eine Einflussvariable auf die EKP zu untersuchen, verglichen Harbin et al. 1984 erstmals in einem Experiment eine Gruppe junger Probanden mit einer älteren Gruppe. Sie erzeugten hierzu bei den Probanden eine durch ein unpassendes Wort hervorgerufene N400-Komponente. Bei den Älteren war die Latenz der N400 größer, die Amplitude aber geringer. Interpretiert wurde dies als ein längerer Beurteilungsprozess bei den älteren Probanden, da diese über ein größeres Repertoire an Wörtern verfügen, mit denen ein Abgleich stattfinden muss.

Gunter et al. (1992) ergänzten diese Ergebnisse, in dem sie zeigten, dass die längere Latenz der N400 nicht von allgemein verlängerten Input- oder Reaktionszeiten hervorgerufen werden kann, da frühere EKP-Komponenten wie die

P100 nicht verspätet auftraten. Auch bezüglich der „Mismatch-Negativität“ fanden sich keine Alterseffekte (Gunter et al., 1996). Dies bestätigten auch Amenedo und Diaz (1998), die diesen Effekt als Hinweis auf die lebenslängliche Konstanz automatischer Unterscheidungsprozesse und analytischer Vorgänge interpretierten.

Pelosi und Blumhard (1999) untersuchten das Alter im Zusammenhang mit dem Arbeitsgedächtnis. Die Leistungen waren bei allen Altersgruppen, abgesehen von Verlängerung der Reaktionszeit mit zunehmendem Alter, vergleichbar. Allerdings fanden sie mit steigendem Alter größer werdende Unterschiede in frühen und späten Komponenten der EKP. Die Forscher schlossen daraus, dass dies möglicherweise auf Kompensationsmechanismen zurückzuführen sei, mit deren Hilfe die Bewältigung der Aufgabe trotz unterschwelliger Defizite im Arbeitsgedächtnis gewährleistet wird.

Van der Stelt et al. (1998) beschäftigten sich noch detaillierter mit der Frage des Alters. In ihrem Experiment verglichen sie stetigen Veränderungen von jungen Probanden im Alter zwischen sieben und 24 Jahren. Es zeigte sich mit zunehmendem Alter eine Abnahme der Latenz einer N2-Komponente. Sie erklärten dies mit der Optimierung visueller und kognitiver Diskriminationsprozesse als ein Ergebnis körperlicher Reifung.

2.1.3.2. Erwartung

Wird in einer Reihe von Reizen, die aus einem Zielreiz (Target) und einem gewöhnlichen Reiz (Non-Target) bestehen, ein unerwarteter dritter Reiz (akustisch, visuell oder somatosensibel) dargeboten, zeigt sich eine frühe P300-Komponente mit Ausprägung im zentro-frontalen Bereich (Courchesne et al., 1984; Knight, 1984; Yamaguchi und Knight, 1991). Diese Komponente wird auch P3a genannt. Die etwas spätere Reaktion auf den Zielreiz hingegen befindet sich parietal und wird als P3b bezeichnet (Courchesne et al., 1975; Squires et al., 1975). Simons et al. (2001) und Spencer et al. (1999) bestätigten, dass es sich bei beiden Potentialen um die P300 handelt.

2.1.3.3. Aufgabenschwierigkeit

Comerchero und Polich (1999) wiesen auf einen Zusammenhang der P3a- und P3b-Welle mit der Schwierigkeit der Unterscheidung der dargebotenen Reize hin. War die Unterscheidung zwischen Standardreiz und Zielreiz schwierig, entstand nach Zielreizen eine P3b, während bei Standardreizen die P3a ausgeprägter war. Demnach entscheidet die Schwierigkeit der Diskrimination eher über die Entstehung einer P3a als die Darbietung eines unerwarteten Reizes. Diesen Anstieg der P3a bei schwieriger Diskrimination bestätigten auch Kimura et al. (2008). Sie vermuteten einen Zusammenhang mit aufmerksamkeitsgetriggerten Prozessen.

Anders wurde der Begriff Aufgabenschwierigkeit zum Beispiel von Johnson (1986) verstanden. Er sah als Schwierigkeit das Zählen der Zielreize und fand hierbei eine Zunahme der P3-Amplitude.

2.1.3.4. Aufmerksamkeit

Amplitudenhöhe und Latenz der P300 steht in Zusammenhang mit der Aufmerksamkeit, die auf den Zielreiz gerichtet ist. Je stärker der Proband seine Aufmerksamkeit auf den Zielreiz lenkt, desto kürzer ist die Latenz und desto höher die Amplitude der P300 (Polich, 1986). Die Aufmerksamkeit wurde hierbei durch eine Aufgabe, z.B. Tastendruck, hergestellt.

Allerdings lässt sich die P300 auch passiv, d.h. ohne Kopplung an eine Aufgabe auslösen. Polich und McIsaac (1994) zeigten dies, als Probanden den Zielreiz zwar beachteten, aber keinerlei Aufgaben auszuführen hatten.

2.1.3.5. Emotion

Die EKP werden durch emotionsgeladene Bilder beeinflusst. Entscheidend ist hierbei die emotionale Bewertung durch die Versuchsperson. Dies konnte Jessen (1997) zeigen, indem er seinen Probanden verschiedene Bilder darbot, die neutral, positiv oder negativ bewertet wurden. Er fand signifikante Unterschiede in den EKP-Kurven, die mit dem emotionalen „Arousal“ korrelierten.

Schneider (1990) untersuchte die Reaktion der EKP der Probanden auf Emotionen, die über Gesichter vermittelt wurden. In den computergenerierten Gesichtern wurden durch Änderung der Mimik verschiedene emotionale Zustände widergespiegelt. Es zeigten sich je nach Gefühlsausdruck signifikante Unterschiede in den Kurvenverläufen.

2.1.3.6. Aufgabenrelevanz

Kyung Hwan et al. (2008) analysierten die Veränderungen der EKP in Zusammenhang mit einem Wechsel der Aufgabenschwierigkeit. Sie fokussierten dabei ihre Aufmerksamkeit auf die Komponenten P300 und P200. Sie stellten fest, dass die P300-Amplitude kleiner und die Latenz länger war bei Aufgaben höheren Schwierigkeitsgrades. Die Amplitude der P200 hingegen korrelierte mit der Aufgabenschwierigkeit. Sie schlossen aus ihren Ergebnissen, dass die P200 als ein Korrelat der Bewertung der Aufgabenrelevanz zu sehen sein könnte.

2.1.3.7. Geschlecht

Die Untersuchung von Geschlechtsunterschieden mittels ereigniskorrelierter Potentiale wurde bereits in vielen Studien zur Verhaltensforschung angewendet (Suyama et al., 2008). In erster Linie spielen hierbei die geschlechtsspezifischen Aspekte in neuronalen Verarbeitungsprozessen eine Rolle. So untersuchten

Neuhaus et al. (2009) die unterschiedliche Verarbeitung von Aufmerksamkeitsprozessen und kamen zu dem Schluss, dass bestimmte Komponenten, z.B. die N100, bei Frauen signifikant höher ausgeprägt waren als bei den männlichen Probanden. Steffenson et al. (2008) versuchten gezielt die Rolle des Geschlechts in Bezug auf die P300 und die N400 bei visuell evozierten Potentialen zu charakterisieren. Sie unterschieden in ihrer Untersuchung zwischen einem „relevanten“ und einem „irrelevanten“ Stimulus. Sie fanden deutliche Effekte: Die Potentiale der Frauen waren bei „relevanten“ Stimuli sowohl in der P300 als auch in der N400 stärker ausgeprägt als bei den männlichen Probanden, bei den „irrelevanten“ Stimuli fanden sie diesen Effekt nur für die N400. Eine frühere und höhere N400 fanden auch Daltrozzo et al. (2007) in ihrem Experiment zu Geschlechtsunterschieden bei semantischen Bahnungen.

2.1.3.8. Stimulusdauer

Wird einem Probanden ein visueller Stimulus dargeboten, so ist zu berücksichtigen, dass sowohl der Beginn als auch das Ende der Stimulusdarbietung einen Reiz auslösen kann. So kann es zu bei zu kurzer Darbietung zu einer Überlagerung von Komponenten kommen. Um dies zu verhindern, weist Heinz (1991) darauf hin, dass die Dauer der Reizdarbietung und das reizfreie Intervall zwischen zwei Stimuli länger sein sollten als die Dauer der Reizantwort.

2.1.4. EKP und psychiatrische Forschung

2.1.4.1. Allgemeines

Die Methode der ereigniskorrelierten Potentiale wird für die Untersuchung vieler Fragestellungen im psychiatrischen und neuropsychologischen Kontext herangezogen (Nelson und McCleery 2008). Neben Anwendungen im Bereich der Grundlagenforschung dient sie auch oft der Untersuchung krankheitsspezifischer,

d.h. meist psychopathologischer Veränderungen. Dabei wird nach Wegen gesucht, die EKPs in sinnvoller Weise bei klinischen Fragestellungen, z.B. Diagnostik und Verlaufsbeurteilungen, anzuwenden.

Ein großer Vorteil liegt hierbei neben der leichten, relativ kostengünstigen Anwendung dieser Messmethode in ihrem praktisch fehlenden Untersuchungsrisiko. Sie ist nicht-invasiv und bezüglich ihrer Handhabung relativ einfach durchzuführen. Es bestehen dabei keinerlei Risiken oder Folgeschäden für den Probanden.

Neben diesen unbestreitbaren Vorteilen müssen allerdings auch die limitierenden Faktoren dieser Methode berücksichtigt werden. Wie oben bereits erwähnt, konnte von Heinz (1995) gezeigt werden, dass die EKP-Kurven einer großen interindividuellen Variabilität unterliegen. Die Kurvenverläufe können hierbei untypisch sein, so dass eine eindeutige Identifikation einzelner Komponenten nicht immer gewährleistet ist. Somit werden krankheitsbedingte Veränderungen der EKP möglicherweise nicht sichtbar, da im Vergleich hierzu die individuellen Unterschiede größer sind. So könnte die Beurteilung eines Patienten nur erfolgen, wenn von diesem zuvor eine „Basis-Kurve“ generiert worden wäre. Heinz (1998) fand hierzu Ansätze, indem es ihm gelang, durch Quotientenbildungen die interindividuelle Variabilität zum Teil „herauszukürzen“.

Aus Sicht der evidenzbasierten Medizin eignet sich die EKP-Methode unter Diagnosegesichtspunkten nicht. Sowohl Spezifität als auch Sensitivität sind niedrig. Wie Bland (1996) erläuterte, kann also nicht aus dem Fehlen eines pathologischen EKP-Merkmals (z.B. Verlängerung einer Latenz) geschlossen werden, dass eine Krankheit nicht vorliegt (niedrige Spezifität). Umgekehrt lässt das Vorliegen dieses Merkmals ebenso wenig den Schluss auf eine Erkrankung zu (niedrige Sensitivität).

Ein weiteres Problem stellt die Uneinheitlichkeit der Untersuchungsbedingungen dar. Sowohl die EKP-Komponenten als auch das EEG im Allgemeinen lassen sich leicht

durch Störungen beeinflussen. Dies können Nebengeräusche, Lichtreize oder Vibrationen sein. Auch lässt sich nicht ausschließen, dass z.B. die Größe des Untersuchungsraums oder die Art der Instruktion der Probanden einen Einfluss haben. Die Standardisierung des Umfelds und die Eliminierung von Störgrößen sind allerdings für eine bessere Vergleichbarkeit und Replizierbarkeit von Studien unabdingbar. Picton et al. (2000) entwarfen in diesem Zusammenhang die Leitlinien der Society For Psychophysiological Research aus dem Jahr 2000, in denen die Gesellschaft Kriterien bezüglich Aufzeichnung, Auswertung und Publikation in der EKP-Forschung aufstellt.

Voraussetzung für eine erfolgreiche Aufzeichnung von EKP-Kurven ist die Compliance des Probanden. Da der Prozess insgesamt inklusive Vorbereitung, Instruktion und Aufzeichnung einige Zeit in Anspruch nimmt und ein ruhiges Verhalten während der Untersuchung unverzichtbar ist, kommen nur Probanden in Betracht, die hierzu in der Lage sind. Andernfalls ist eine Auswertung der Aufzeichnung wegen der Vielzahl an Artefakten unmöglich. So kann die Untersuchung z.B. nicht an akut psychotischen Patienten durchgeführt werden.

2.1.4.2. EKP und Schizophrenie

Ereigniskorrelierte Potentiale stellen einen wichtigen Bestandteil psychopathologischer Forschung dar. Insbesondere Erkrankungen aus dem schizophrenen Formenkreis sind bereits unter den verschiedensten Fragestellungen untersucht worden. Im Folgenden sollen einige aktuelle Aspekte dieser Forschung vorgestellt werden.

Die Schizophrenie ist ein Krankheitsbild, dessen Diagnose noch immer klinisch gestellt wird. Sie ist durch Störungen des Denkens, der Affektivität sowie der Wahrnehmung gekennzeichnet. Hierbei können je nach Symptomatik verschiedene Erscheinungsformen unterschieden werden. Bereits in den siebziger Jahren wurden erste Versuche unternommen, die verschiedenen Aspekte der Erkrankung und ihrer

Pathogenese mit Hilfe einer Analyse der P300 zu objektivieren (Roth et al., 1972). Guillem et al. (2003) stellten Vermutungen dahingehend auf, dass die bei Schizophrenen beobachteten Auffälligkeiten Gedächtnisdefekte und Wirklichkeitsverzerrung widerspiegeln. Heinz (1995) konnte allerdings konkrete Vorschläge widerlegen, nach denen Latenzverlängerung und Amplitudenverkleinerung der P300 ein eindeutiger Hinweis auf das Vorliegen einer schizophrenen Erkrankung seien: Er fand diese Effekte auch bei gesunden Probanden; ebenso kam es bei Schizophrenen zu gegenteiliger Darstellung der P300.

Nicht zu verwechseln mit der Schizophrenie ist die schizotypische Persönlichkeitsstörung. Diese zeichnet sich durch ein Verhaltensdefizit im psychosozialen Bereich und in zwischenmenschlichen Beziehungen aus. Mit diesem Unterschied beschäftigten sich Vohs et al. (2008). Sie untersuchten Patienten mit Schizophrenie, gesunde Kontrollprobanden und Patienten mit schizotypischer Persönlichkeitsstörung. Auf Basis vorangegangener Ergebnisse, nach denen es bei beiden Bildern zu einer Störung visueller Verarbeitungsprozesse kommt (Johnson et al., 2005; Vohs et al., 2008), wollten sie die zugrunde liegenden Vorgänge beleuchten. Es zeigten sich hierbei tief greifende Abweichungen bezüglich visueller Wahrnehmung und Aufmerksamkeit bei den Schizophrenie-Kranken, nicht jedoch bei Patienten mit schizotypischer Persönlichkeitsstörung. Die Autoren schlossen hieraus, dass den bei beiden Bildern auftretenden Störung visueller Verarbeitungsprozesse verschiedene Ursachen zugrunde liegen müssen.

Turetsky et al. (2007) untersuchten die Frage, wie Schizophrene emotionale Informationen aus Gesichtern entschlüsseln können. Erkrankte und gesunde Kontrollprobanden bekamen Gesichter präsentiert, die verschiedene Emotionen widerspiegeln. Es zeigte sich, dass es den Gesunden besser gelang, die jeweilige Emotion zu benennen. Die Autoren fanden bei den Schizophrenie-Patienten Auffälligkeiten in frühen visuellen Verarbeitungsprozessen, die Gesichtserkennung repräsentieren. Sie schlossen daraus, dass es sich bei den Störungen im Erkennen von affektiven Informationen um einen sekundären Effekt handelt, der auf einer

primären Störung im Erkennen von Gesichtern beruht. Sie präzisierten damit die Ansicht von Johnston et al. (2005), die nach ihrer kombinierten fMRI-ERP-Studie über die Emotionserkennung aus Gesichtern zu dem Schluss kamen, die gestörte Erkennung von Emotionen beruhe auf einem generellen Defizit in frühen visuellen Verarbeitungsprozessen.

Bediou et al. (2007) stellten diesen Vorschlag allerdings in Frage. Sie verglichen die EKP von Schizophrenen und Kontrollpersonen in zweierlei Bedingungen: Eine Aufgabe bestand aus der Identifizierung des Geschlechts des gezeigten Gesichts („implicit task“), die andere in der Erkennung des Ausdrucks in emotionalen oder neutralen Gesichtern („expression detection“). Die Patienten zeigten eine normale Reaktion des primären visuellen Kortex, aber deutliche Defizite in frühen Amplituden anderer Hirnabschnitte während der „expression detection“. So war beispielsweise die bei den Kontrollprobanden okzipital-temporal auftretende Komponente N170 bei den Patienten in dieser Bedingung reduziert, nicht jedoch während der Geschlechter-Erkennung. Aus ihren Ergebnissen schlossen die Autoren, dass für den gestörten Erkennungsprozess von Emotionen bei Schizophrenen zwar frühe Defizite in der Verarbeitung verantwortlich sind, aber diese Defizite abhängig vom emotionalen Gehalt auftreten. Sie erwähnen in diesem Zusammenhang eine möglicherweise gestörte „top-down neuromodulation“, die die Prozesse im visuellen okzipital-temporalen Kortex von limbischen und frontalen Strukturen aus beeinflusst. Möglicherweise spielt auch die von Arnfred (2012) beschriebene gestörte Informationsverarbeitung in Bezug auf die Eigenwahrnehmung bei Schizophreniepatienten eine Rolle.

2.2. Fragestellung

2.2.1. Zielsetzung

Die Anwendung von ereigniskorrelierten Potentialen hat im aktuellen klinischen Alltag hauptsächlich eine Bedeutung im Zusammenhang mit der Diagnostik von Nervenleitgeschwindigkeiten bzw. deren Veränderungen. Als Beispiel sei hier die Frühdiagnostik der Multiplen Sklerose erwähnt, wo es zur Verlangsamung von visuell evozierten Potentialen kommt. Die Betrachtung der späten Komponenten der ereigniskorrelierten Potentiale (vgl. Kapitel 2.1.1.) spielt in der klinischen Anwendung jedoch eine untergeordnete Rolle und hat bisher ihre Bedeutung weitgehend im Bereich der neurophysiologischen Grundlagenforschung. Es stellt daher eine Herausforderung dar, ereigniskorrelierte Potentiale auch über die frühen Komponenten hinaus so weit zu untersuchen und zu charakterisieren, dass eine klinische Anwendung möglich werden kann. So könnte deren Beurteilung z.B. in der Diagnostik psychiatrischer Erkrankung wie der Schizophrenie eingesetzt werden. Um diese Brücke zwischen theoretischem Wissen und praktischer Anwendung schlagen zu können, sind Untersuchungen notwendig, die sich der Weiterentwicklung der neurophysiologischen Grundlagenforschung widmen. Diese Arbeit soll einen Beitrag dazu leisten.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die Unterschiede von visuell evozierten ereigniskorrelierten Potentialen in Abhängigkeit von verschiedenen komplexen Reizen zu untersuchen und darzustellen. Untersucht wurden gesunde Probanden. Hierfür wurden drei Arten von Mustern verwendet: Ein Schachbrettmuster, verschiedene schwarz-weiße, unregelmäßige Muster sowie unregelmäßige Muster mit semantischem Inhalt, d.h. mit erkennbarem Buchstaben. Ausgehend von der Annahme, dass auf diese verschiedenen Reiztypen unterschiedliche Reaktionen des Gehirns erfolgen, sind auch Unterschiede in den abgeleiteten Potentialdifferenzen zu erwarten.

2.2.2. Replikation und Erweiterung einer Voruntersuchung

Diese Dissertation soll die Ergebnisse einer Voruntersuchung der Arbeitsgruppe replizieren und bestätigen. In der bisher nicht veröffentlichten Dissertationsarbeit von Hüttermann wurden die ereigniskorrelierten Potentiale von 15 gesunden Probanden untersucht, denen verschieden komplexe Reize präsentiert wurden. Durch die Untersuchung eines größeren Probandenkollektivs im Vergleich zur Voruntersuchung sollte nun eine höhere Aussagekraft der Ergebnisse erzielt werden. Insgesamt bestand die Untersuchung aus drei Teilaufgaben, wobei die erste der Aufgabenstellung der Voruntersuchung entsprach.

2.2.2.1. Ergebnis der Voruntersuchung

Bei Betrachtung der Ergebnisse der Voruntersuchung waren folgende Tendenzen erkennbar:

- Über alle drei Bedingungen hinweg, d.h. bei Schachbrettmuster, unregelmäßigem Muster und Buchstabe, waren überwiegend positive EKP erkennbar
- Bei Muster und Buchstabe war bei ca. 400 ms eine signifikante negative Potentialkomponente im Vergleich zur Schachbrettbedingung zu sehen (N-Welle)
- Die EKP nach Buchstaben zeigten eine signifikante lang anhaltende Positivierung

2.2.2.2. Erläuterung der Teilaufgaben

Während die erste der drei Teilaufgaben identisch mit der Aufgabenstellung der Voruntersuchung war, wurde diese Untersuchung durch zwei weitere Teilaufgaben ergänzt. Mithilfe der zweiten Teilaufgabe wurde sichergestellt, dass die Probanden die Buchstaben auch tatsächlich wahrnehmen und von den Mustern ohne Buchstabe unterscheiden konnten („Bewertungsprogramm“, vgl. Kapitel 3.1.2.2.2.). Bei der

dritten Teilaufgabe handelte es sich um eine Zählaufgabe, bei der die Probanden über einen bestimmten Zeitraum zählen sollten, wie oft sich ein Schachbrettmuster auf einem Teil des Bildschirms änderte („Target-Nontarget“-Programm, vgl. Kapitel 3.1.2.2.3.). Hierbei wurde ein signifikanter Effekt der ereigniskorrelierten Potentiale, speziell der P300, in Abhängigkeit von Erscheinen oder Ausbleiben des zu zählenden Reizes erwartet (vgl. Sutton et al., 1967). Außerdem diente diese Aufgabe neben der Beurteilung der Konzentrationsfähigkeit der Probanden der verbesserten Auswertung der ersten Teilaufgabe (Average-Bildung, vgl. Kapitel 3.2.2.3.).

Die Ergänzung der ersten Teilaufgabe durch die beiden anderen Untersuchungsanteile trug somit dazu bei, eine bessere Vergleichbarkeit der Voraussetzungen der einzelnen Probanden zu gewährleisten. Die Aussagekraft der Ergebnisse konnte so gesteigert werden, da Artefakte dieser Art reduziert waren.

2.2.3. Generierung einer Kontrollgruppe

Diese Untersuchung wurde in gleicher Weise mit allen drei Teilaufgaben an Patienten durchgeführt, die erstmalig oder langfristig an Schizophrenie erkrankt sind. Das wesentliche Ziel dieser Studie war daher die Generierung einer gesunden Kontrollgruppe, um die Ergebnisse der erkrankten Probanden mit den Daten gesunder Probanden vergleichen zu können. Aus diesem Grund wurde bei der Probandenauswahl für diese Untersuchung darauf geachtet, eine weitgehende Strukturgleichheit in Bezug auf Alter und Bildungsniveau der Patientengruppe herzustellen.

Bei der Betrachtung der ereigniskorrelierten Potentiale erkrankter Probanden sind Unterschiede zu den EKP-Kurven gesunder Probanden zu erwarten, die durch den Vergleich mit der Kontrollgruppe auf Signifikanzen überprüft werden können. In zukünftigen Studien könnten aus diesen Unterschieden Merkmale ableitbar sein, die möglicherweise den Weg für eine diagnostische Anwendung, eine bessere

Beurteilbarkeit von Krankheitsverläufen und ein größeres Verständnis für pathologische Abläufe bei Schizophrenie ebnen.

3. Methodik und Auswertung

3.1. Methodik

3.1.1. Probanden

3.1.1.1. Allgemeines

Bei den Versuchspersonen handelte es sich um Freiwillige, die sich ohne jegliche Bezahlung dem Versuch zu Verfügung stellten. Zum Zeitpunkt der Untersuchung waren alle Probanden in körperlich guter Verfassung, bei keinem lag eine Intoxikation oder eine Abhängigkeit vor. Psychiatrische oder neurologische Erkrankungen waren bei keinem der Versuchsteilnehmer diagnostiziert. Fehlsichtigkeiten wurden mit Hilfsmitteln (Brille, Kontaktlinsen) korrigiert.

Von insgesamt 32 untersuchten Probanden musste eine weibliche Person wegen zu vieler Artefakte von der Ergebnisberechnung ausgeschlossen werden.

3.1.1.2. Auswahlkriterien

Untersucht wurden 16 männliche und 15 weibliche Probanden im Alter zwischen 20 und 51 Jahren. Um eine bessere Vergleichbarkeit mit der korrespondierenden Versuchsgruppe der Schizophrenie-Erkrankten zu gewährleisten, wurden Probanden verschiedener Bildungsniveaus eingeschlossen. Teilweise handelte es sich um Studierende der Medizin, teilweise entstammten die Personen dem persönlichen Bekanntenkreis der Doktorandin. Des Weiteren wurde als Voraussetzung für eine Teilnahme die Rechtshändigkeit angesehen, die durch den Edinburgh Inventory (Oldfield, 1971) im Vorfeld festgestellt wurde.

3.1.1.3. Alter

Die 15 Frauen und 16 Männer befanden sich im Alter zwischen 20 und 51 Jahren, wobei hauptsächlich jüngere Probanden untersucht wurden. Dadurch sollte eine möglichst große Ähnlichkeit zur Altersstruktur der Schizophrenie-Erkrankten gewährleistet werden. Das Durchschnittsalter der männlichen Probanden betrug 28,8, das der weiblichen 24,2 Jahre, in der Gesamtgruppe also 26,6 Jahre mit einer Standardabweichung von 6,5 Jahren.

3.1.2. Durchführung der Untersuchung

3.1.2.1. Technische Aspekte

3.1.2.1.1. Ableitung

Das EEG der Probanden wurde mithilfe einer Haube der Firma Easycap aus Herrsching-Breitbrunn, Deutschland, abgeleitet. Diese Kappe aus synthetischem Material ermöglicht die Befestigung von Elektroden nach dem internationalen 10-20-System (Jasper, 1958) und die Ableitung von 32 Kanälen. Vorgesehen sind auch die Platzierung der Referenz-Elektrode sowie der Erdungs-Elektrode in der Medianlinie zwischen Nasion und Inion. Die für diese Untersuchung wesentlichen Messpunkte waren die zentralen (Cz, C3, C4), parietalen (Pz, P3, P4) sowie frontalen (Fz, F3, F4) Elektroden.

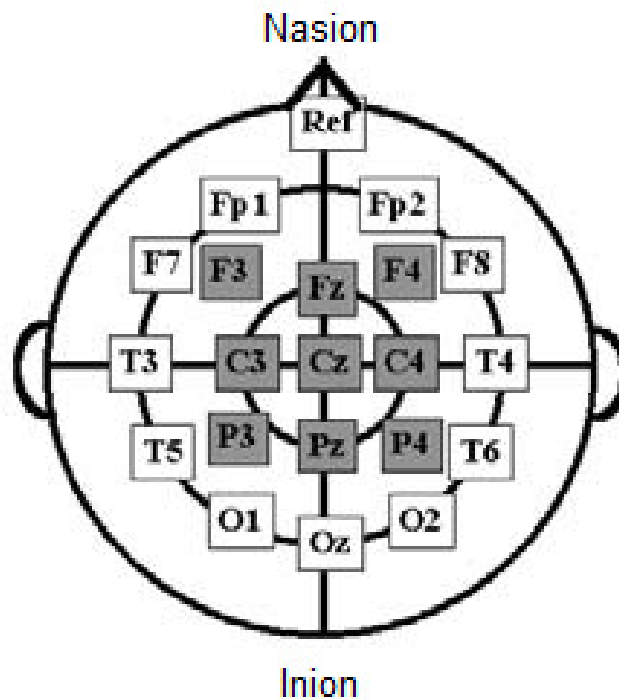


Abb. 3.1.: Schematische Darstellung der Ableitungspunkte des 10-20-Systems (angepasst nach Schandry, 1989 und Hoffrogge, 2003)

Es standen zwei verschiedene Haubengrößen zu Verfügung, so dass je nach Kopfumfang des Probanden die passende Größe benutzt werden konnte. Da bei der Platzierung und Fixierung der Haube der korrekte Sitz entscheidend für die Vergleichbarkeit der verschiedenen Probanden ist, wurde zunächst der Abstand von Nasion zu Inion gemessen und die zentrale Elektrode (Cz) auf halber Strecke lokalisiert.

Bei den Elektroden, die an den vorgesehenen Stellen an der Haube befestigt wurden, handelte es sich um Silber-Silberchlorid-Elektroden. Durch ein Elektrolyt-Gel wurde der Kontakt zwischen Kopfhaut und Elektroden hergestellt, nachdem die Kopfhaut zur Senkung des elektrischen Widerstands leicht angeraut worden war. Das Elektrolyt-Gel bewirkte hierbei eine Verringerung der Impedanz, so dass die elektrischen Potentiale von der Kopfhaut ableitbar waren. Alle angebrachten Elektroden wurden solange bearbeitet, bis jeder einzelne Widerstand unter fünf Kiloohm lag.

Außerdem wurde durch die Befestigung von Elektroden an den Schläfen und infraorbital links ein Elektrookulogramm (EOG) aufgezeichnet. Hierdurch wurden Augenbewegungen und Blinzeln bei der Aufzeichnung sichtbar gemacht (vgl. Lutzenberger et al., 1985).

3.1.2.1.2. Registrierung

Um die auf der Kopfhaut gemessenen minimalen Potentialdifferenzen sichtbar zu machen, wurden die analogen Signale zunächst durch einen Vorverstärker in unmittelbarer Nähe der Haube verstärkt. Zur weiteren Verarbeitung und Aufbereitung der Daten wurde das System „BrainAmp“ der Firma Brain Products GmbH, München, verwendet. In dieser Einheit erfolgte neben der Endverstärkung auch die analoge Bandpassfilterung mit einer unteren Grenzfrequenz von 0,02 Hertz und einer oberen Grenzfrequenz von 125 Hertz. Anschließend wurden die Daten mit einer Abtastfrequenz von 256 Hertz und einer Auflösung von 16 Bit digitalisiert und erneut digital gefiltert. So konnten Potentialdifferenzen in einem großen Frequenzbereich registriert werden.

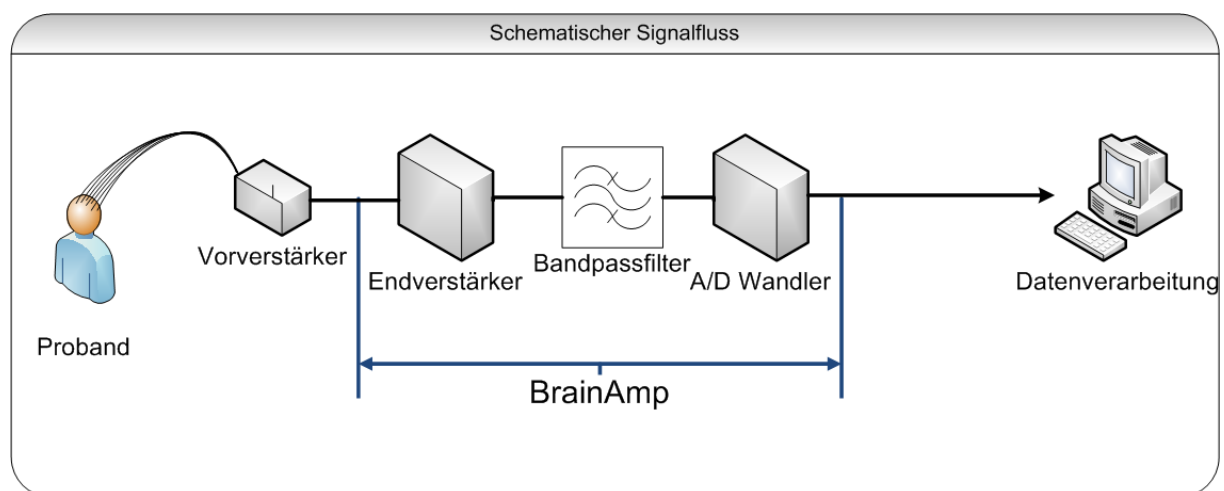


Abb. 3.2.: Schematische Darstellung des Signalflosses

Die Ableitungen konnten während der Aufzeichnung auf einem Bildschirm in Raum zwei (vgl. Kapitel 3.3.1.) mit verfolgt werden. So konnte bereits hier eine erste Einschätzung über die Anzahl der Artefakte, z.B. durch im EOG sichtbares Blinzeln erfolgen.

3.1.2.1.3. Programme

Die zur Reizdarbietung verwendeten Programme wurden von Herrn Dipl.-Phys. M. Rubly in der Programmiersprache „Borland Pascal“ angefertigt. Gestartet wurden die einzelnen Programme während der Untersuchung von einem Computer mit dem Betriebssystem DOS in Raum zwei (vgl. Abb. 3.8.) aus. Sichtbar waren die Reize sowohl auf dem Bildschirm im Untersuchungsraum (Raum eins), wie auch am Computer selbst in Raum zwei.

3.1.2.2. Präsentierte Reize

3.1.2.2.1. „Black-and-White“-Programm (BAW)

Das „Black-and-White“-Programm (BAW) bildete die erste Teilaufgabe und den Kern der Untersuchung. Das Programm hatte eine Laufzeit von etwa zwölf Minuten und zeigte die im Folgenden beschriebenen Reize im Wechsel mit reizfreien Intervallen (schwarzer Bildschirm), die eine Dauer zwischen vier und sieben Sekunden hatten. Die Abfolge der Reize wurde als Zufallsfolge festgelegt, so dass eine zufällige, aber in allen Untersuchungen gleiche Reihenfolge der Reize entstand. Die Dauer der einzelnen Reize betrug 1,5 Sekunden.

Es existierten drei Reizarten: das Schachbrettmuster, das unregelmäßige Muster und das Muster mit semantischem Inhalt, d.h. mit erkennbarem Buchstaben. Das Schachbrettmuster wurde während eines Durchlaufs 16 Mal dargeboten, ein

unregelmäßiges Muster 32 Mal und 32 Mal war ein Buchstabe zu sehen. Jeder Reiz sollte durch einen Mausklick von dem Probanden bestätigt werden.

Dieses Programm wurde insgesamt dreimal gestartet. Zwischen den Durchgängen gab es für den Probanden die Möglichkeit kurzer Pausen.

3.1.2.2.1.1. Schachbrett

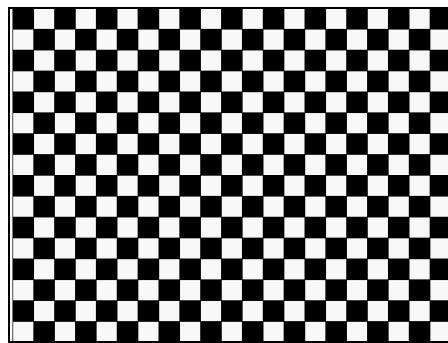


Abb. 3.3.: Bild Schachbrettmuster, 21x16 Quadrate

3.1.2.2.1.2. Beispiele für unregelmäßige Muster

Im Folgenden wird hierfür der Begriff „Muster“ verwendet.

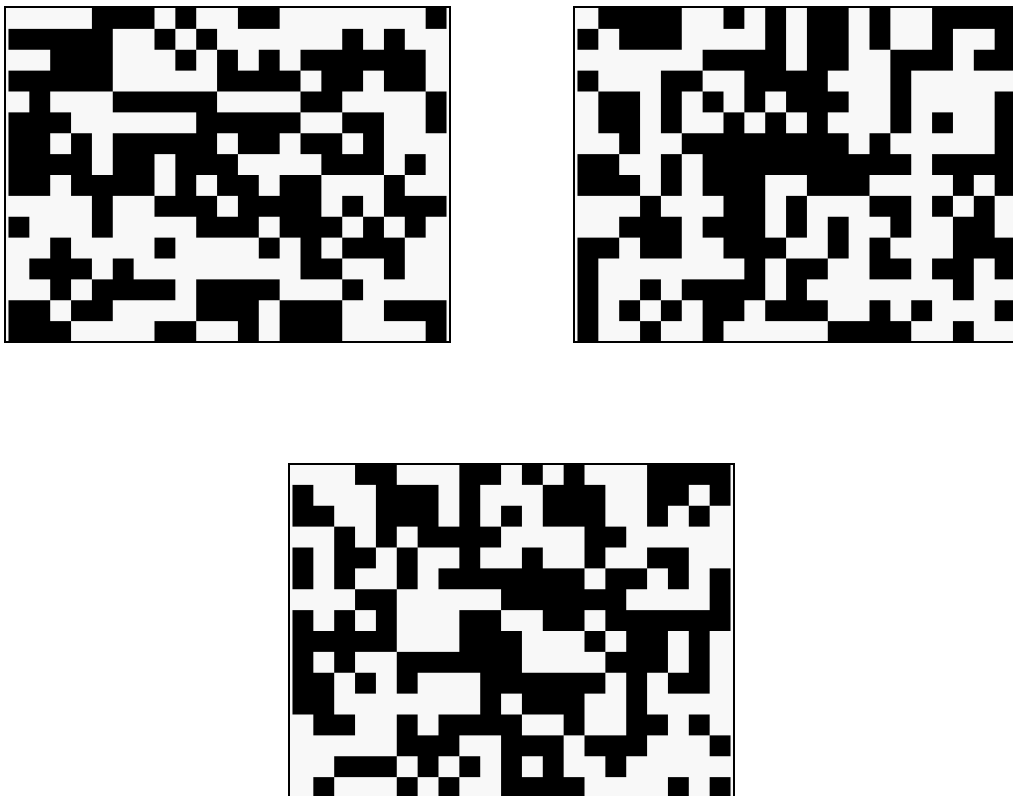


Abb. 3.4.: Beispielbilder Muster

3.1.2.2.1.3. Beispiele Buchstabe

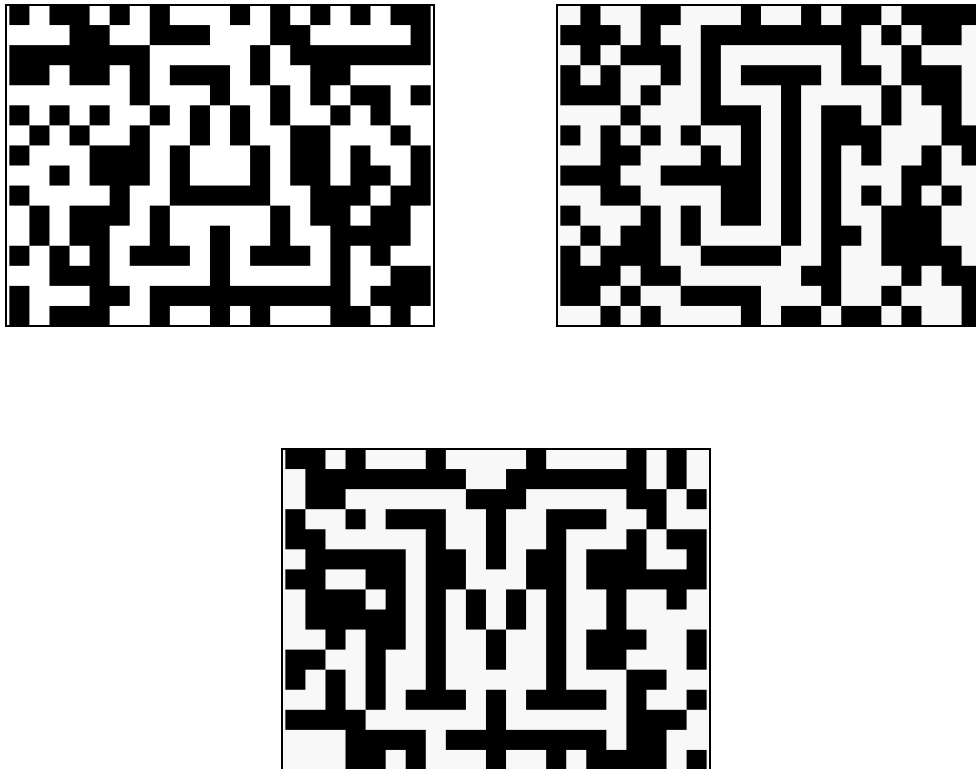


Abb. 3.5.: Beispielbilder Buchstabe

3.1.2.2.2. Bewertungsprogramm (Bewert)

Das „Bewertungsprogramm“ (Bewert) wurde nach den drei Durchgängen des BAW-Programms gestartet. Hier erschienen auf dem Bildschirm Muster und Buchstaben in gleicher zufälliger Weise wie im BAW-Programm. Es wurde zehnmal ein Muster und zehnmal ein Buchstabe in unregelmäßiger Abfolge präsentiert. Die Versuchsleiterin befand sich während des Ablaufs des Programms bei dem Probanden im Raum. Der Proband wurde aufgefordert, bei jedem erscheinenden Reiz anzugeben, ob er einen Buchstaben erkennen konnte. Diese Angaben wurden von der Versuchsleiterin dokumentiert (siehe Anhang 8.2.4. „Ergebnisdokumentation“).

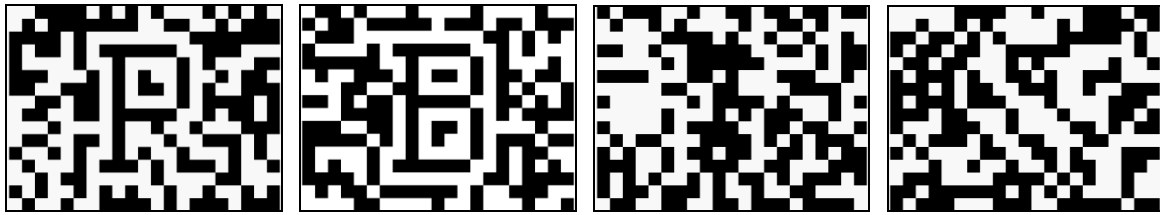


Abb. 3.6.: Beispiel für den Ablauf im Bewert-Programm

3.1.2.2.3. „Target-Nontarget“-Programm (TNT)

Das „Target-Nontarget“-Programm wurde als dritte Teilaufgabe nach dem Bewert-Programm gestartet. Es gab zwei Durchgänge dieser Aufgabe, die jeweils nach frühestens acht Minuten von der Versuchsleiterin beendet wurden.

Die Reize stellten sich für den Probanden wie folgt dar: Auf dem Bildschirm erschien ein Schachbrettmuster, d.h. analog zum BAW-Programm 21 mal 16 Quadrate, wobei schwarz und weiß alternierend dargestellt wurden. In der Mitte des Bildschirms war ein kleines, orangefarbenes Quadrat lokalisiert, das als Hilfe zur Fixierung der Bildmitte diente.

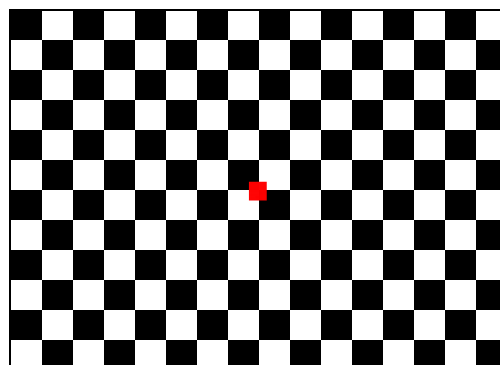


Abb. 3.7.: Schachbrett mit Orientierungsquadrat

Das Schachbrettmuster wurde während des laufenden Programms immer wieder im Abstand weniger Sekunden folgendermaßen verändert:

- **die obere Hälfte** des Bildschirms veränderte sich als Umkehrmuster (die zuvor weißen Flächen wurden schwarz und umgekehrt). Dies wurde definiert als Nontarget-Reiz.

und

- **die untere Hälfte** des Bildschirms veränderte sich in dieser Weise. Dies wurde definiert als Target-Reiz.

Die Aufgabe des Probanden bestand darin, still mitzuzählen, wie oft sich der Target-Reiz (= Musterumkehr des unteren Teils des Bildschirms) ereignete. Dies sollte völlig unabhängig von den Veränderungen der oberen Hälfte geschehen. Wenn beide Reize aus Gründen des zeitlichen Stimulationsablaufs gemeinsam auftraten, sollte der untere Reiz als Target-Reiz weiter mitgezählt werden. Die Reize, bei denen sich Target- und Nontarget-Reiz gleichzeitig ereigneten, wurden in der späteren Auswertung der EKP aber nicht berücksichtigt.

Um sicher zu gehen, dass der Proband die Aufgabe verstanden hatte und in der Lage war, sie auszuführen, lief während der Aufgabeninstruktion des Probanden ein Übungsdurchgang, den der Proband beenden konnte, sobald er sich fähig sah, die Aufgabe auszuführen.

3.1.3. Versuchsablauf

3.1.3.1. Räumliche Anordnung

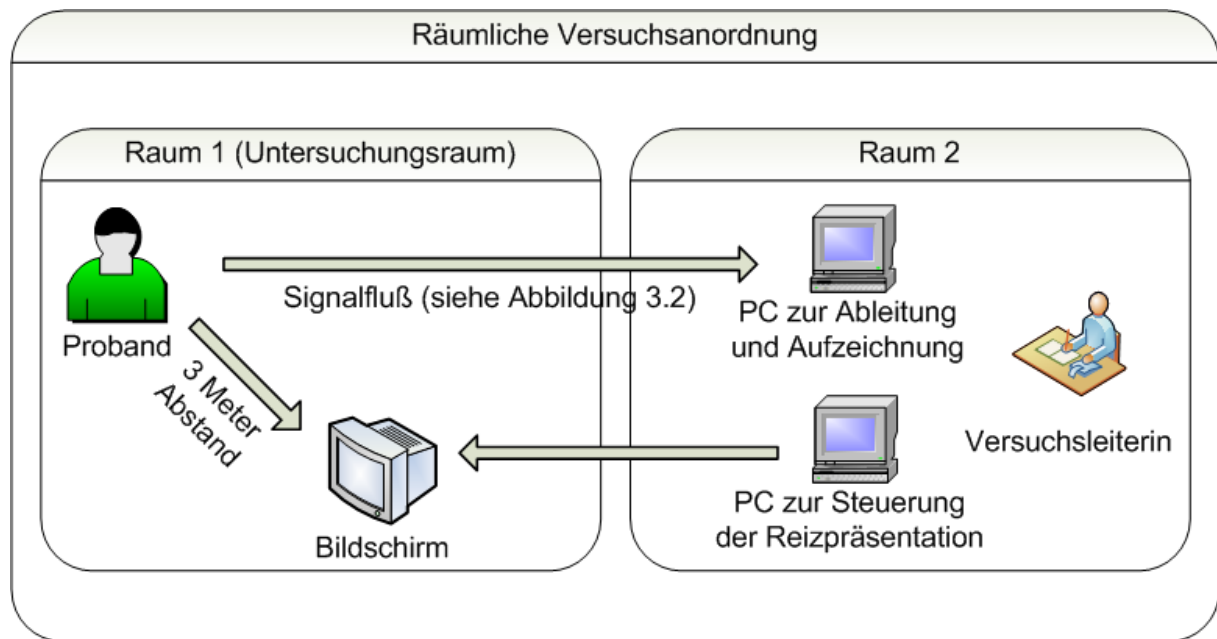


Abb. 3.8.: Räumliche Anordnung der Untersuchung

Die Untersuchung fand in zwei getrennten Räumen statt. Im ersten Raum wurden dem Probanden die Reize präsentiert und die ereigniskorrelierten Potentiale über eine EEG-Haube abgeleitet. Im zweiten Raum fanden die Steuerung der Programmabläufe sowie die Aufzeichnung statt.

Raum Nummer eins wurde während der Untersuchung abgedunkelt und soweit wie möglich von Störsignalen isoliert. Die Stimuli wurden über einen 20“-Bildschirm dargeboten, der in etwa drei Metern Abstand eines Sessels stand, auf dem der Proband Platz nahm. Während zwei der drei Teiluntersuchungen war der Proband alleine im Raum.

Im Raum Nummer zwei befanden sich zwei Computer. Durch den ersten Computer wurde die Reizpräsentation in der festgelegten Reihenfolge gestartet, so dass die Stimuli auf dem Bildschirm in Raum eins erschienen. Der zweite Computer zeichnete die Ableitungen während der Reizdarbietungen auf.

3.1.3.2. Vorbereitung der Probanden

Zunächst wurde der Proband gebeten, eine vorbereitete Aufklärung zur Kenntnis zu nehmen und zu unterschreiben (siehe Anhang 8.2.1. „Aufklärung“). Anschließend wurden dem Probanden eventuell auftauchende Fragen mündlich erläutert. Des Weiteren füllte der Proband einen Bogen aus, in dem persönliche Daten festgehalten wurden (siehe Anhang 8.2.2. „Datenblatt“).

Anschließend wurde die Händigkeit des Probanden festgestellt. Zu diesem Zweck wurde der Edinburgh Inventory (Oldfield, 1971) eingesetzt (siehe Anhang 8.2.3. „Fragebogen zur Händigkeit“).

Bevor mit dem Platzieren der EEG-Elektroden begonnen wurde, bestätigte der Proband nochmals seine Bereitschaft zur Untersuchung und seine Konzentrationsfähigkeit. Anschließend nahm der Proband auf dem Sessel in Raum eins Platz. Das korrekte Anbringen der Elektroden erforderte in der Regel etwa eine halbe Stunde.

3.1.3.3. Anweisungen

Zunächst wurde dem Probanden nun der Gesamtablauf der Untersuchung erklärt, d.h. die Aufteilung in drei Teilaufgaben sowie die Unterteilung von Teilaufgabe eins in drei Abschnitte. Auf die Möglichkeit kurzer Pausen zwischen den Teilaufgaben wurde hingewiesen.

Der Proband wurde nun wie folgt instruiert:

- Ruhiges und entspanntes Sitzen
- Wenig bewegen
- Bildschirm beobachten
- Wenig blinzeln, möglichst nicht blinzeln bei Bildwechsel
- Im ersten Teil soll jedes neue Bild mit einem Mausklick bestätigt werden.

3.1.3.4. Abfolge der Programme und Pausenzeiten

Nach Instruktion des Probanden wurde das BAW-Programm gestartet. Nach dem ersten Durchlauf des Programms wurde dem Probanden eine einminütige Pause angeboten. Anschließend wurde das BAW-Programm ein weiteres Mal gestartet. Auch nach dem zweiten Durchlauf konnte bei Bedarf des Probanden eine kurze Pause eingelegt werden, bevor zum dritten Mal das BAW-Programm gestartet wurde. Im BAW-Programm sollte der Proband jeden neu erscheinenden Reiz völlig unabhängig von seinem Inhalt durch einen Mausklick bestätigen. Dies sollte ein gleich bleibendes Maß an Aufmerksamkeit gewährleisten. Da das Klicken keine weitere Funktion hatte, wurde es nicht weiter ausgewertet.

Nach Abschluss der ersten Teilaufgabe wurde zur Erholung des Probanden eine Pause von fünf Minuten eingelegt. Dem Probanden wurde nun die zweite Teilaufgabe erläutert. Dazu begab sich die Versuchsleiterin nach Starten des Bewertungsprogramms zu dem Probanden, um die Angaben des Probanden zu dokumentieren (siehe auch 3.1.2.2.2.).

Es folgte nun die Instruktion des Probanden für die dritte Teilaufgabe (siehe auch 3.1.2.2.3.). Hierzu wurde das TNT-Programm zur Übung gestartet, um sicherzustellen, dass der Proband die Aufgabe korrekt ausführen konnte. Anschließend wurde das TNT-Programm gestartet und nach einer Mindestzeit von

acht Minuten wieder beendet. Dieser Vorgang wurde einmal wiederholt. Zwischen den Durchgängen wurde in einer kurzen Pause das Zählergebnis des ersten Durchgangs abgefragt. Das Zählergebnis des zweiten Durchgangs wurde ebenfalls unmittelbar nach Beendigung dokumentiert.

3.2. Auswertung

3.2.1. Allgemeines

Die weitere Verarbeitung und Auswertung der aufgezeichneten digitalen Daten erfolgte mit dem Programm „BrainVision Analyzer“ der Firma Brain Products GmbH, München, das von Herrn Dipl.-Phys. M. Rubly an die Anforderungen der Arbeitsgruppe angepasst worden war. Mithilfe dieser umfangreichen Software entstand eine interpretierbare Darstellung der aufgezeichneten Daten, die z.B. auf Signifikanzen hin überprüft werden konnte. Im Folgenden sollen einige Schritte des Auswertungsprozesses erläutert werden. Anschließend erfolgt eine Erläuterung über die Signifikanzberechnung von Kurvenverläufen.

3.2.2. Programmschritte

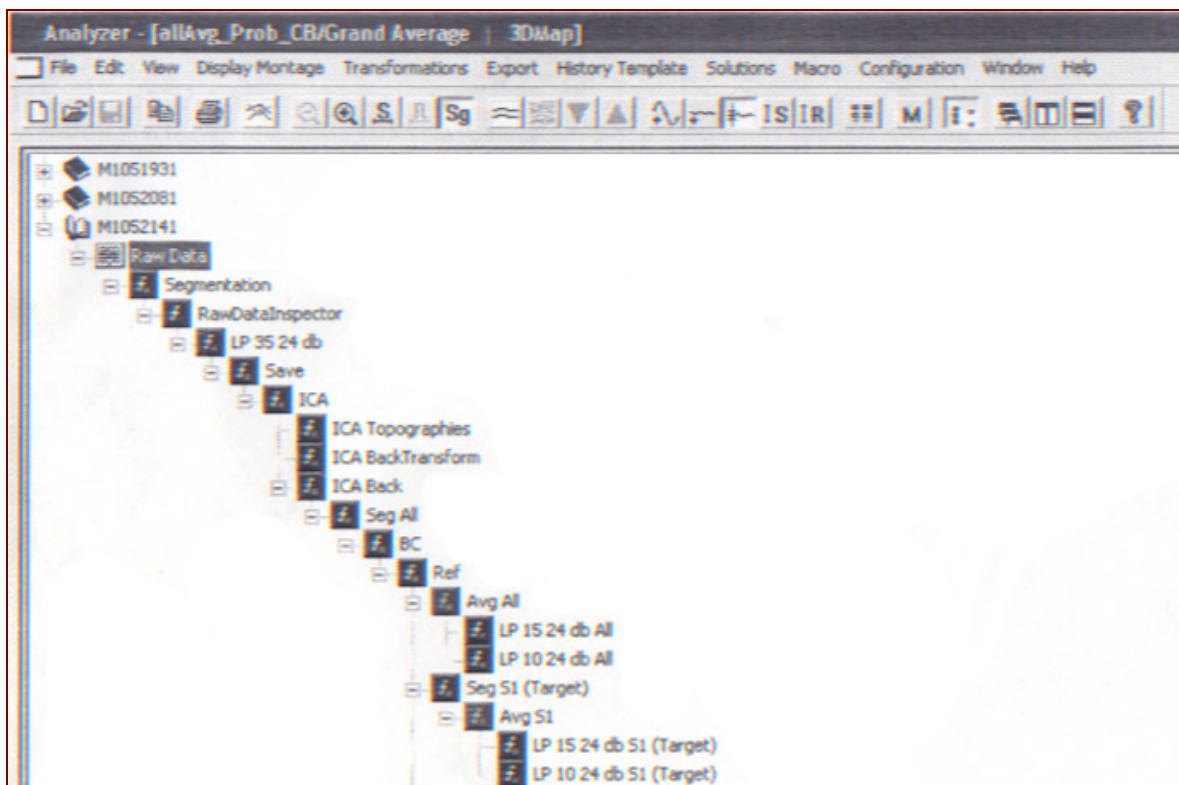


Abb. 3.9.: „BrainVision Analyzer“- Programmabfolge

3.2.2.1. Rohdaten und Filterung

Die aufgezeichneten Rohdaten eines Probanden werden zunächst „segmentiert“, d.h. Zeiten, die nicht zur Untersuchung gehören (z.B. Pausenzeiten) werden gelöscht, so dass lediglich die relevanten EEG-Abschnitte übrig bleiben. Im zweiten Schritt werden grobe Artefakte wie stärkere EOG-Signale oder Bewegungsartefakte entfernt („RawDataInspector“). Anschließend erfolgt eine digitale Filterung der Daten mit einer oberen Grenzfrequenz von 35 Hz, um Anteile der Netzfrequenz (50 Hz) zu eliminieren. Die so aufbereiteten Datensätze werden dann gespeichert.

3.2.2.2. Komponentenanalyse (ICA)

Der nun folgende Schritt stellt mit der „Independent Component Analysis“ (ICA) ein wesentliches Element zur weiteren Artefaktbereinigung dar. Mit dieser speziellen Methode der multivariaten Statistik lassen sich relevante Signalkomponenten von statistisch zufälligen Einflussvariablen trennen. Konkret werden Teile des Signals identifiziert, die einem gemeinsamen Ursprung entstammen. Obwohl hierbei keinerlei Aussage über eine mögliche Lokalisation dieser Quellen erfolgen kann, ist es durch den charakteristischen Verlauf möglich, z.B. diejenige Komponente zu identifizieren, die durch Lidschluss verursacht ist. Diese Komponente wird markiert und kann nun von dem Programm eliminiert werden, so dass ein EEG entsteht, welches sich frei von Augenartefakten darstellt. Insgesamt betrachtet besteht dieser Programmschritt also aus der Trennung in Komponenten, Identifizierung von Artefakten und deren Elimination und der anschließenden Wiederzusammenführung der Komponenten.

3.2.2.3. Baseline und Average

Nach der ICA erfolgt die Markierung und Speicherung relevanter Stellen des EEG. Dabei handelt es sich um die Zeiträume von 500 ms vor einem dargebotenen Reiz bis 1500 ms danach. Die Daten außerhalb dieser Zeitspanne spielen im weiteren Verlauf keine Rolle und werden nicht weiter berücksichtigt. Mit Hilfe der „Prä-

Triggerzeit“ von 500 ms wird anschließend die so genannte „Baseline“ (Nulllinie) berechnet. Diese Nulllinie stellt dann die Referenz für die nachfolgende Messung der Amplituden der ereigniskorrelierten Potentiale in der „Post-Triggerzeit“.

Um der internationalen Konvention zu entsprechen, erfolgt nun die Umrechnung der verwendeten Referenzelektrode auf der Verbindungslinie zwischen Nasion und Inion auf die mit einander verbundenen Ohrläppchen, gegen die standardmäßig gemessen wird.

Im nun folgenden Schritt werden die Daten über alle Versuchsbedingungen gemittelt. Unabhängig von der Art des Reizes kann so ein Teil des EEG-Grundrauschens eliminiert werden. Diesen Vorgang bezeichnet man als „Average“-Bildung. Werden diese gemittelten Verläufe über das gesamte Probandenkollektiv gemittelt, spricht man von „Grand Average“. Je höher bei der Average-Bildung die Anzahl der Einzelreize ist, desto größer ist der Effekt in Bezug auf die Reduzierung des Rauschens.

Es kann nun eine Darstellung der ereigniskorrelierten Potentiale für jede der Untersuchungsbedingungen erfolgen. Dies bedeutet, dass ein Vergleich von Kurvenverläufen möglich ist.

3.2.3. Signifikanzberechnung nach Blair und Karniski

In der Regel erfolgt bei der Auswertung von Potentialverläufen eine Signifikanzberechnung einzelner Komponenten oder Latenzen, die dazu vorher identifiziert und parametrisch erfasst werden müssen. Der Vergleich erfolgt dann mit üblichen statistischen Testverfahren, z.B. dem t-Test. Der Vergleich ganzer Kurvenverläufe macht es erforderlich, für jeden einzelnen Punkt der Potentialkurven einen solchen t-Test durchzuführen. Da hierbei eine enorm hohe Anzahl an t-Tests durchgeführt wird, kommt es zu einer Erhöhung der Alpha-Fehler-Wahrscheinlichkeit

durch multiples Testen. Dies wird auch Alpha-Fehler-Kumulierung genannt und bedeutet, dass die Wahrscheinlichkeit größer wird, eine Signifikanz statistisch nachzuweisen, obwohl diese tatsächlich nicht vorliegt.

Von diesem Problem ausgehend entwickelten Blair und Karniski 1993 einen Permutationstest, der eine Alpha-Inflation umgeht. Somit ist ein Vergleich kompletter Potentialkurven möglich. Das Signifikanzniveau kann beliebig gewählt werden und wurde in der vorliegenden Untersuchung wie üblich bei 5% festgelegt. Mit dieser Wahrscheinlichkeit wird akzeptiert, dass die Alternativhypothese („Die Unterschiede in den Potentialverläufen sind nicht zufällig.“) fälschlicherweise angenommen wird, obwohl die Nullhypothese („Die Unterschiede in den Potentialverläufen sind zufällig.“) zutrifft. Bei der Anwendung dieses Tests ist eine Normalverteilung keine Voraussetzung, da er dem Prinzip der Rangreihentestung entspricht.

Für den Permutationstest nach Blair und Karniski werden die Messwerte eines Probanden zunächst mit den Daten jedes anderen Probanden zu einem bestimmten Zeitpunkt permutiert. Für jede dieser möglichen Kombinationen wird ein t-Test durchgeführt. Nun werden die Unterschiede dieser aus den gemessenen Daten bestimmten t-Werte (*t_{real}*) zu den „hypothetischen“ t-Werten betrachtet, d.h. zu den t-Werten, die entstehen, wenn die zu betrachteten Bedingungen (hier z.B. Schachbrett vs. Muster) vertauscht werden. Gäbe es keinen Unterschied unter den verschiedenen Bedingungen, wären auch die Abweichungen der t-Werte zufällig. Die Signifikanz wird also anhand der t-Wert-Verteilung bestimmt und liefert so exakte Ergebnisse (Pannasch, 2003).

4. Ergebnisse

4.1. Allgemeine Erläuterungen

Die nun folgenden Darstellungen der Ergebnisse beziehen sich grundsätzlich auf die berechneten Grand-Averages. Dies bedeutet, dass durch Mittelung der Kurven über alle Probanden für jeden Ableitort, getrennt nach Stimuluskategorie, eine Darstellung der ereigniskorrelierten Potentiale der gesamten Gruppe möglich ist. Die interindividuellen Unterschiede zwischen den Probanden, die in ihrer erheblichen Streubreite dennoch als „zufällig“ zu betrachten sind, werden auf diese Weise heraus gekürzt. Erkennbar werden durch diese Vorgehensweise Effekte, die trotz aller Unterschiede zwischen den Probanden eine Regelmäßigkeit aufweisen, die nicht mehr als „zufällig“ angesehen werden kann. Diese systematischen Einflüsse auf den Kurvenverlauf, die von den verschiedenen Stimulusarten hervorgerufen sind, werden vor dem Hintergrund einer definierten Irrtumswahrscheinlichkeit ($p=5\%$) auf Signifikanz überprüft. Auf diese Weise lassen sich Effekte, die beim Betrachten der ereigniskorrelierten Potentiale einzelner Probanden durch die großen interindividuellen Verschiedenheiten verdeckt worden wären, durch Vergleich der Grand-Averages darstellen.

Dargestellt werden die Kurvenverläufe der ereigniskorrelierten Potentiale auf einem Koordinatensystem. Die x-Achse entspricht hierbei der Zeitachse, wobei der Zeitpunkt „Null“ jeweils dem Beginn des dargebotenen Stimulus entspricht. Die Potentialdifferenzen werden in Mikrovolt (μV) auf der y-Achse abgetragen. Üblich ist hierfür, dass negative Potentialdifferenzen als Kurvenauslenkung nach oben, positive Spannungen als Auslenkung nach unten abgetragen werden (Lutzenberger et al., 1985).

Zur besseren Übersicht sind die Kurvenverläufe der verschiedenen Ableitorte in unterschiedlichen Farben dargestellt. Dabei gilt im Allgemeinen folgendes:

Dargestellt werden in der Regel drei Kurvenverläufe in einer Abbildung, wobei entweder die ereigniskorrelierten Potentiale der linken Kopfhälfte, der Kopfmittle oder der rechten Kopfhälfte gemeinsam dargestellt werden; jeweils frontal, zentral und parietal. Die Ableitorte der linken Kopfhälfte werden somit als F3, C3 und P3 bezeichnet, die der Kopfmittle als Fz, Cz und Pz und die der rechten Kopfhälfte als F4, C4 und P4. Die frontalen Ableitungen sind als rote, die zentralen als grüne und die parietalen als blaue Kurven dargestellt.

Beim Vergleich zweier Kurven werden Differenzkurven mit dargestellt. Anhand dieser Kurven werden mögliche Signifikanzen, die nach der Berechnung nach Blair und Karniski auftreten (siehe Kapitel 3.2.3.), durch Überschreiten der „Signifikanzlinie“ ($p < 0.05$) deutlich. Werden diese Linien überschritten, werden die Signifikanzen durch farbige Balken markiert. Diese Balken sind zum entsprechenden Zeitpunkt auf der Zeitachse in der Farbe der sich als signifikant herausstellenden Kurve dargestellt.

Im Folgenden sollen nun zunächst die ereigniskorrelierten Potentiale abhängig von ihrer Stimuluskategorie erläutert werden. Zuerst erfolgt die Betrachtung unter den verschiedenen Bedingungen der BAW-Aufgabe (Schachbrett, Muster und Buchstabe), anschließend werden die Ergebnisse der TNT-Aufgabe (Target-Nontarget) dargelegt. Im zweiten Teil werden Vergleiche zwischen den verschiedenen Bedingungen vorgenommen, bevor im dritten Teil durch eine getrennte Darstellung der Ergebnisse von Frauen und Männern nach möglichen geschlechtsspezifischen Effekten gesucht wird.

4.2. Ergebnisse Gesamtgruppe

4.2.1. BAW

Insgesamt betrachtet weisen die ereigniskorrelierten Potentiale der verschiedenen Stimuluskategorien in ihren Verläufen eine Parallelität auf. So sind durchgehend positive Maximalwerte bei 200 und 300 ms erkennbar, ebenso negative Wellen bei 100, 250 und 400 ms. Gemeinsam ist ihnen auch ein anhaltendes positives Potential über das Aufzeichnungsende (1500 ms) hinaus. Die Unterschiede zwischen den Potentialverläufen machen sich zumeist in verschieden ausgeprägten Potentialkomponenten bemerkbar.

Die hier dargestellten Ergebnisse finden sich in größerer Darstellung auch im Anhang.

4.2.1.1. Schachbrett

Die Potentialverläufe beginnen beim Stimulus „Schachbrett“ einheitlich mit einem negativen Potential, das in den frontalen Ableitungen (rote Kurven) mit minus 3 μ V am stärksten ausgeprägt erscheint. Es folgt ein steiler Abfall aller Kurven in den positiven Bereich, der einen Maximalwert von 5 bis 8 μ V aufweist, wobei die parietalen Ableitungen die höchsten Werte erreichen. Ab diesem Zeitpunkt divergieren frontale, zentrale und parietale Ableitungen in ihren Potentialdifferenzen, es bleibt aber eine Parallelität zu erkennen. Bis etwa 700 ms bleiben die parietalen Ableitungen die positivsten, um sich dann, mehr als frontale und zentrale Potentiale, der Nulllinie anzunähern, diese aber nicht erreichen. Nach einem weiteren positiven Maximum aller Kurven bei 300 ms, fällt durchgehend eine negative Potentialwelle bei 400 ms auf, die in den frontalen Ableitungen fast die Nulllinie erreicht. Es folgt ein anhaltendes, positives Potential, welches sich zwischen 2 bis 3 μ V bewegt und bis Aufzeichnungsende bei 1500 ms anhält. Frontale und zentrale Kurven nähern sich

dabei einander an und bleiben im Wert konstant, die parietalen Potentiale haben eher eine leichte Tendenz zur Nulllinie.

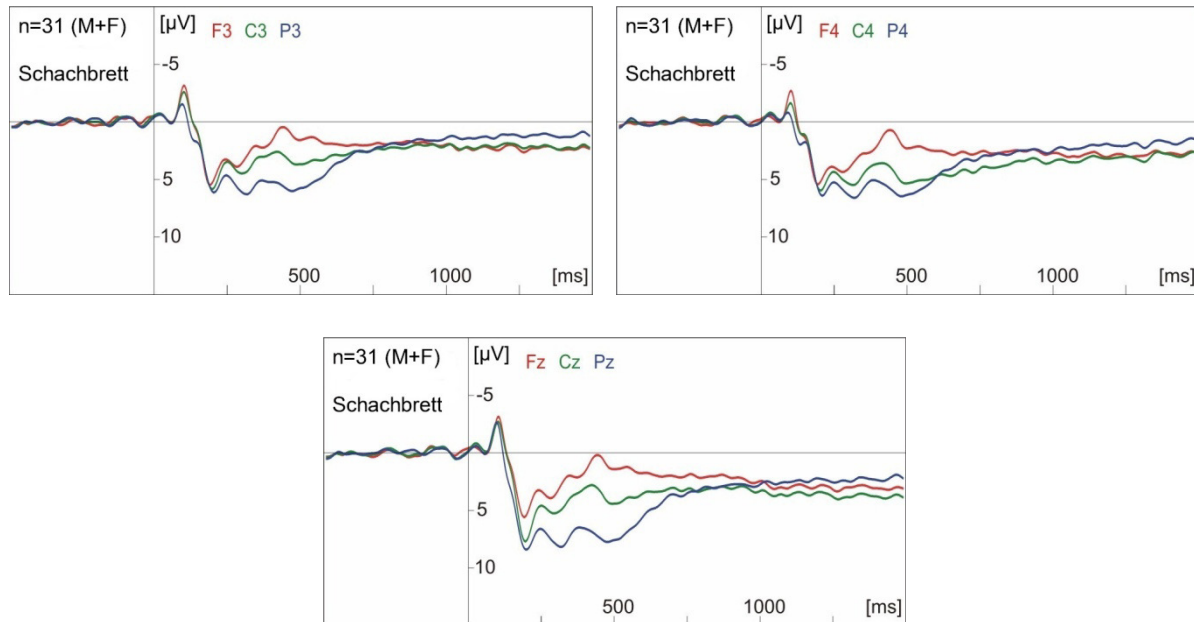


Abb. 4.1.: EKP beim Stimulus „Schachbrett“

4.2.1.2. Muster

Beim Stimulus „Muster“ erreichen die Potentialkurven bei 100 ms analog zu den Reaktionen auf den Schachbrett-Reiz einen negativen Maximalwert, der in den frontalen Ableitungen mit minus 3 µV am stärksten ausgeprägt ist. Steiler als beim Schachbrett verläuft der nun folgende Abfall der Kurven und erreicht bei 200 ms einen positiven Peak, der parietal-zentral mit 11µV den höchsten Wert aufweist. Hier divergieren die Kurven ab diesem Zeitpunkt stärker, so dass die Abstände beim zweiten positiven Maximalwert bei 300 ms größer als beim Schachbrett-Reiz sind. Auffällig ist die nun folgende negative Welle bei etwa 400 ms, die in dieser Bedingung besonders frontal und zentral wesentlich deutlicher ausgeprägt ist und in den frontalen Potentialkurven Werte bis minus 3 µV erreicht. Anschließend nähern sich die Kurven wieder einander an und bilden langsame positive Potentiale im Bereich von 2 bis 3 µV.

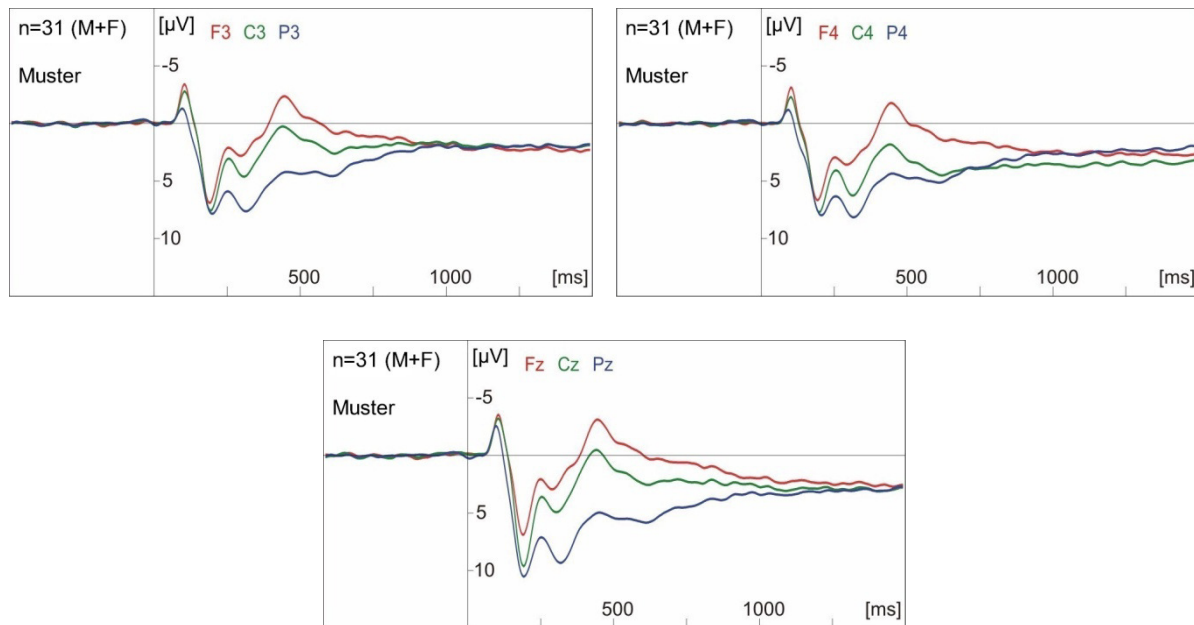


Abb. 4.2.: EKP beim Stimulus „Muster“

4.2.1.3. Buchstabe

Unter der Bedingung „Buchstabe“ verlaufen die Potentialkurven bis 200 ms sehr ähnlich zu den Kurven, die beim Stimulus „Muster“ hervorgerufen werden. Zunächst wird ein negativer Wert von maximal minus 3 μV erreicht. Der anschließende positive Peak bei 200 ms weist Werte zwischen 8 und 11 μV auf. Die nun folgende Negativierung ist allerdings weniger ausgeprägt. Die Werte des zweiten positiven Peaks sind in dieser Stimuluskategorie deutlich höher: Bei 300 ms erreichen die parietalen Ableitungen Werte zwischen 10 und 12 μV , die frontalen 5 bis 6 μV . Die sich anschließende N-Welle bei 400 ms erreicht in der frontal-zentralen Ableitung nahezu die Nulllinie, die parietalen Potentialkurven weisen hier Werte zwischen 7 und 8 μV auf. Anschließend nähern sich auch hier die Kurven im Verlauf einander an, wobei die frontalen und zentralen Ableitungen zu anhaltenden Werten zwischen 5 und 6 μV finden. Die parietalen Kurven zeigen hier einen leicht stärkeren Rückgang der Negativierung, so dass es zu einer Überschneidung mit den frontalen und zentralen Potentialkurven kommt und die Spannungen bei Aufzeichnungsende (1500 ms) bei 4 bis 5 μV liegen.

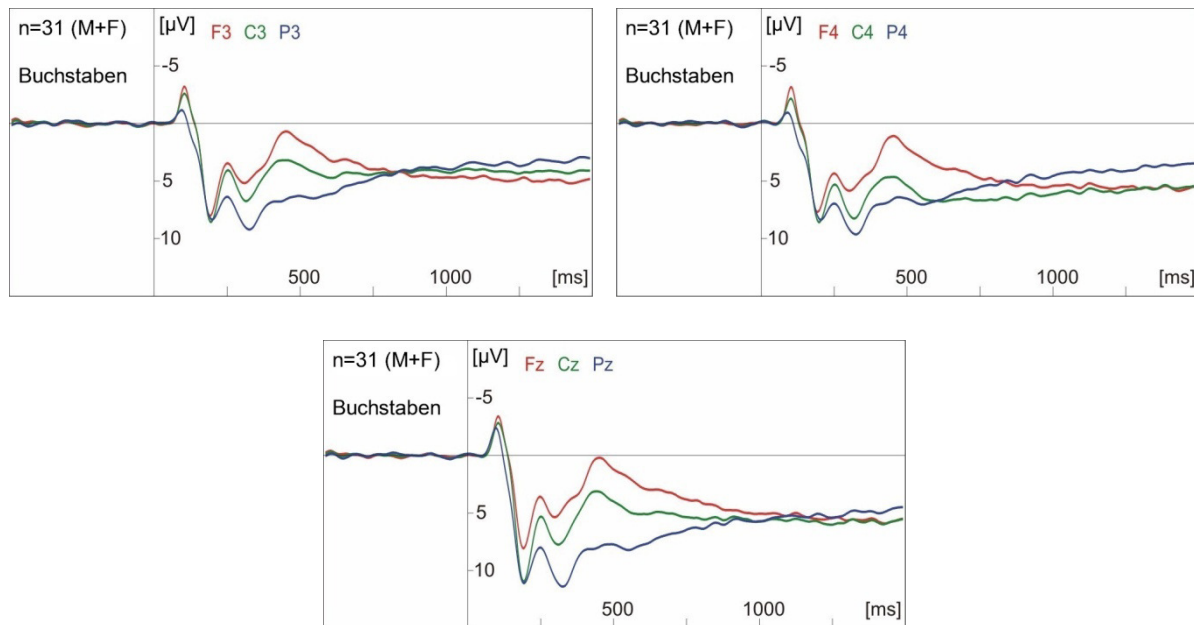


Abb.4.3.: EKP beim Stimulus „Buchstabe“

4.2.2. Target-Nontarget

4.2.2.1. Target

Beim Target-Reiz, d.h. bei einer Musterumkehr des Schachbrettmusters der unteren Bildschirmhälfte (ohne Änderung in der oberen Hälfte), kommt es bei etwa 100 ms zu einem ersten Abweichen der Kurven von der Nulllinie. Im Gegensatz zu frontalen und zentralen Potentialkurven, zeigen die parietalen Ableitungen zunächst eine negative Welle, die auf der rechten Kopfhälfte mit minus 2,5 μV am stärksten ausgeprägt ist. Es zeigt sich ein Abfall der Kurven, der bei 250 ms flacher wird und bei etwa 350 ms mit 12 μV in zentralen und parietalen Ableitungen seinen Maximalwert erreicht. Die frontalen Kurven weisen hier Spannungen zwischen 7 und 8 μV auf. Die Potentialauslenkungen bilden sich bis ca. 500 ms zunächst rasch, danach deutlich langsamer zurück und nähern sich gegen Aufzeichnungsende der Nulllinie.

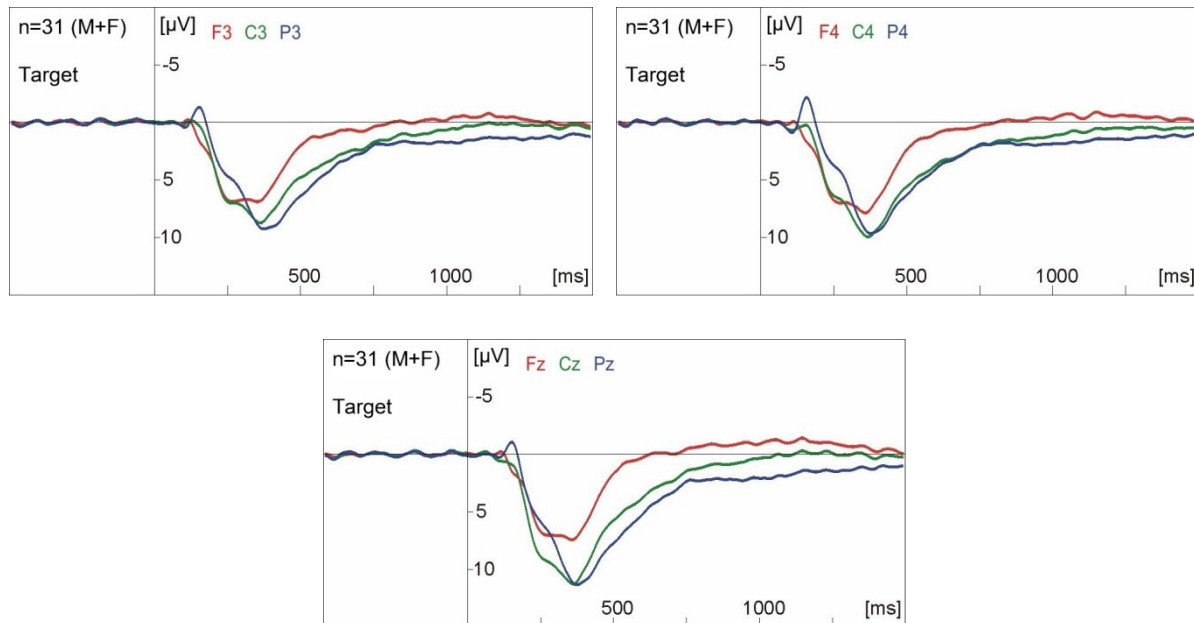


Abb. 4.4.: EKP beim Stimulus „Target“

4.2.2.2. Nontarget

Der Nontarget-Reiz ruft in den Potentialverläufen als erste Komponente negative Gipfel bei circa 100 ms hervor, die parietal mit minus 2,5 µV am stärksten ausgeprägt sind. Es folgt ein Abfall der Kurven, der sich weniger steil darstellt als in der Target-Bedingung und nach einer kurzen, leichten Negativierung bei 300 ms im Bereich von 350 bis 400 ms Werte von 8 bis 10 µV erreicht. Die folgende Potentialrückbildung verläuft zunächst steil, um nach einer Verzögerung bei ca. 500 ms flacher weiter zu verlaufen. Die nun folgende Annäherung der Potentialverläufe an die Nulllinie ist ausgeprägter und schneller als beim Target-Reiz, wobei die frontalen Ableitungen ein geringes Überschießen in den positiven Bereich aufweisen.

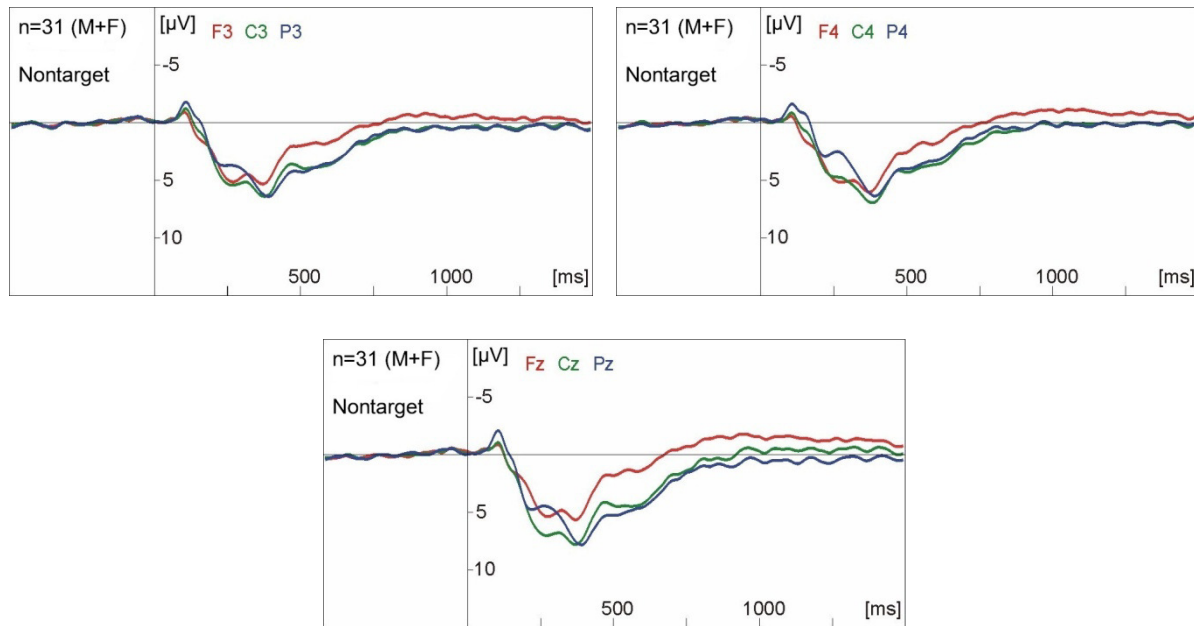


Abb. 4.5.: EKP beim Stimulus „Nontarget“

4.2.2.3. Zählergebnisse

Während der beiden Durchläufe des TNT-Programms wurde den Probanden die Aufgabe gestellt, die Änderungen der unteren Bildschirmhälfte zu zählen (vgl. Kapitel 3.1.2.2.3.). Da das Programm manuell gestartet und beendet wurde, ergab sich so für jeden Durchlauf eine individuelle Anzahl an tatsächlichen Änderungen. Die kleinste zu zählende Zahl betrug 49, die größte 82 bei einem durchschnittlichen Wert von 71 im ersten und 72 im zweiten Durchlauf. Im ersten Durchgang verzählten sich die Probanden im Mittel um 4,3, beim zweiten Versuch um 2,7. Die Bandbreite der Fehlerhäufigkeit reichte hierbei von null Fehlern in beiden Durchgängen bis maximal 31 Fehlern.

4.2.3. Bewert

Bis auf vier Probanden kamen alle mit dem Bewert-Programm getesteten Personen zu fehlerfreien Ergebnissen, d.h. jeder Buchstabe wurde korrekt benannt und es wurde in keinem Fall ein Buchstabe in ein Muster interpretiert.

Eine weibliche Versuchsperson interpretierte nach einer Latenzzeit von etwa drei Sekunden in zwei Fällen ein Muster als Buchstaben. Diese Probandin gab jedoch an, dass die von ihr in diesen Fällen erkannten Buchstaben sich deutlich von den anderen gezeigten, tatsächlichen Buchstaben unterschieden. Sie seien weder zentriert noch in der Größe vergleichbar gewesen. Somit ist davon auszugehen, dass in diesen Fällen erst sekundär und keineswegs spontan zusätzlich Buchstaben erkannt wurden.

Eine weitere Probandin vermutete in einem Muster einen Buchstaben, wollte sich aber nicht darauf festlegen, diesen erkannt zu haben. So erscheint auch hier der Effekt vernachlässigbar.

In den beiden weiteren Fällen erkannten je eine weibliche und eine männliche Versuchsperson einen vorhandenen Buchstaben zwar als Buchstaben, dies aber fehlerhaft. Die Probandin erkannte statt dem Buchstaben „U“ ein „V“, der Proband erkannte in einem „M“ ein „H“. Da für diese Aufgabe jedoch entscheidend war, ob die Probanden die Stimuluskategorien „Buchstabe“ und „Muster“ voneinander unterscheiden konnten, ist nicht davon auszugehen, dass das Verkennen eines Buchstabens einen störenden Effekt haben könnte.

4.3. Kurvenvergleiche

Nachdem in 4.2. die ereigniskorrelierten Potentiale nach Stimuluskategorie geordnet dargestellt wurden, sollen im Folgenden die Unterschiede der Potentialverläufe betrachtet werden. Dies stellt das Kernstück des Ergebnisteils dieser Arbeit dar, da die Kurvenvergleiche die Grundlage für Diskussion und Beantwortung der Fragestellung dieser Promotion bilden. Hierzu werden Differenzkurven gezeigt, die sich aus der Subtraktion von Kurvenverläufen voneinander zusammensetzen. Auf diese Weise lässt sich die Unterschiedlichkeit der ereigniskorrelierten Potentiale verbessert beurteilen. Signifikanzen, die nach Blair und Karniski berechnet wurden (siehe Kapitel 3.2.3.), können als Balken in der Farbe der jeweiligen Ableitung im zeitlichen Verlauf dargestellt werden.

4.3.1. BAW

4.3.1.1. Schachbrett versus Muster

Beim Vergleich der Potentialkurven unter den Bedingungen „Schachbrett“ und „Muster“ fallen bei der Betrachtung der Differenzkurven im Wesentlichen eine negative Differenzwelle bei etwa 200 ms und eine positive bei 400 bis 500 ms auf. Diese erste negative Differenz ist auf die Potentialunterschiede der Kurven bei 200 ms zurückzuführen: Die Potentiale, die beim Stimulus „Muster“ hervorgerufen werden, erreichen vor allem in zentralen und parietalen Ableitungen deutlich höhere Werte. Dies erzeugt eine kurzfristige Signifikanz in allen parietalen Ableitungen sowie in linker und rechter zentraler Ableitung. Diese Signifikanz wird möglicherweise durch die in der Muster-Bedingung weniger ausgeprägte Stufe bei 150 ms begünstigt.

Die auch beim Stimulus „Schachbrett“ evozierte negative Komponente bei 400 bis 450 ms ist beim Betrachten von Mustern wesentlich deutlicher ausgeprägt. Dies führt zu einer Signifikanz in allen frontalen und zentralen Ableitungen im Bereich 400 bis 600 ms sowie in der zentral parietalen Ableitung zwischen 450 und 500 ms. Die Effekte sind in den zentralen Ableitungen ausgeprägter als in den lateralen.

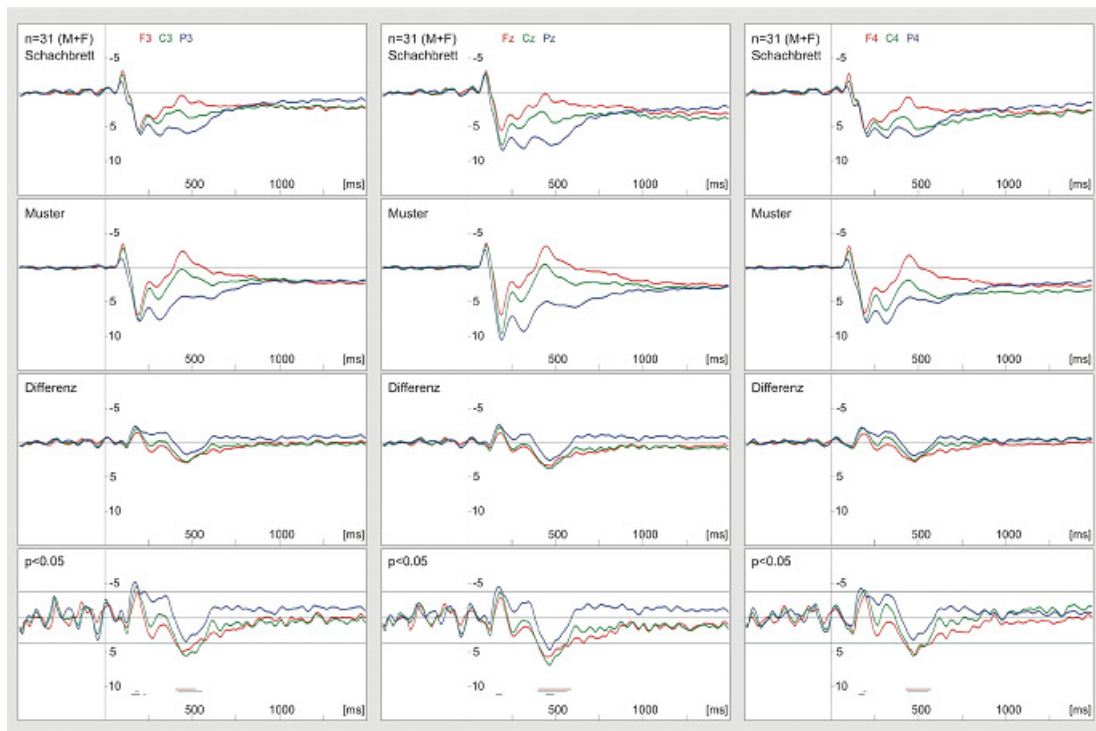


Abb. 4.6: EKP Schachbrett versus Muster (Vergrößerung siehe Anhang)

4.3.1.2. Schachbrett versus Buchstabe

Die Differenzkurven dieser beiden Bedingungen sind insgesamt deutlicher ausgeprägt. Es fallen zwei wellenförmige und eine längerfristige Signifikanz auf. Die erste Welle wird durch die deutlich größeren Werte in der Buchstabenbedingung im Bereich von 200 ms hervorgerufen, die zweite bildet sich durch den nächsten, ebenfalls stärker ausgeprägten Potentialgipfel bei 300 ms. Die Unterschiede im Bereich der negativen Komponente bei 400 ms sind dagegen nicht stark ausgeprägt und führen zu keiner wesentlichen Differenz. Das in der Buchstaben-Bedingung anhaltende positive Potential führt ab 750 ms in allen Ableitungen zu Signifikanzen. Obwohl ähnliche Potentiale in der Stimulus-kategorie „Schachbrett“ evoziert werden, sind diese jedoch deutlich geringer ausgeprägt. Die perietalen Potentialkurven zeigen in diesem längerfristigen Unterschied eine frühere Signifikanz (ab 650 ms), die aber gegen Ende der Aufzeichnungszeit wieder abnimmt.

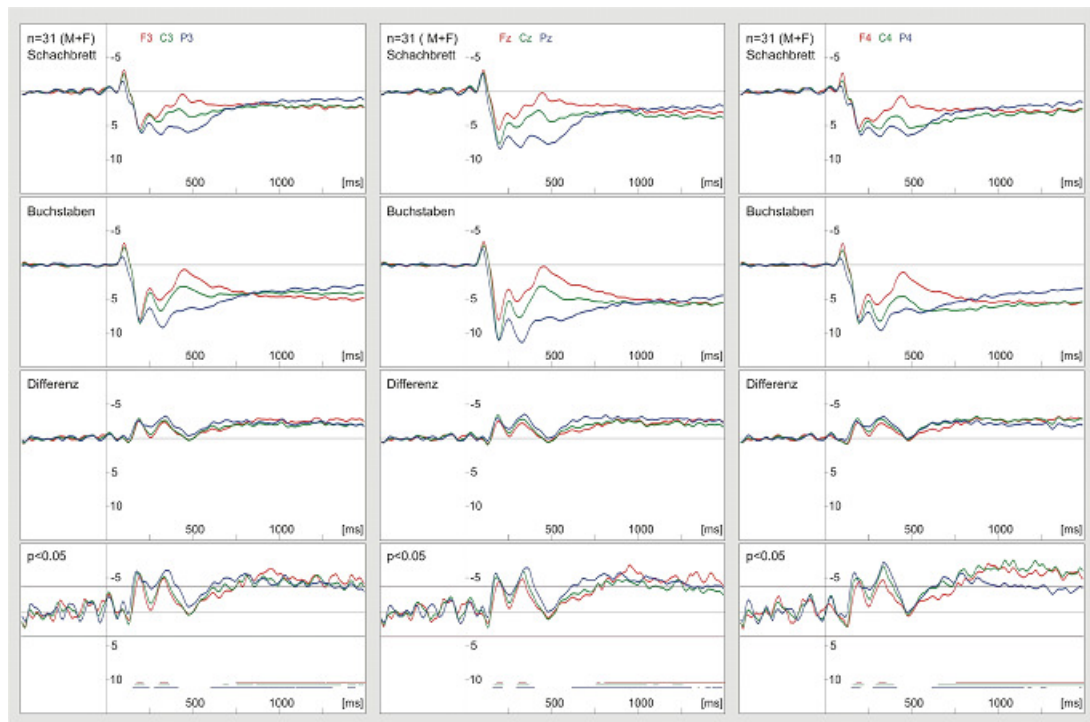


Abb. 4.7.: EKP Schachbrett versus Buchstabe (Vergrößerung siehe Anhang)

4.3.1.3. Muster versus Buchstabe

Hier fallen auf den ersten Blick ausgeprägte Differenzen auf: Die dargestellten Differenzkurven verlassen ab 200 ms die Nulllinie und erreichen diese bis Aufzeichnungsende nicht mehr. Dies führt zu einem Beginn der Signifikanz in den frontalen Ableitungen bei 200 ms. Ab 300 ms zeigt sich eine durchgehende, deutliche Signifikanz in allen Ableitungen, die gegen Ende der Aufzeichnungszeit nur in den parietalen Ableitungen mehrmals unterbrochen wird. Die Kurven der beiden Versuchsbedingungen verlaufen bis zum ersten positiven Maximum bei 200 ms nahezu synchron. Der anschließende zweite positive Gipfel bei 300 ms ist unter der Buchstaben-Bedingung jedoch wesentlich deutlicher ausgeprägt und übertrifft die Werte der ersten positiven Welle. Ab diesem Zeitpunkt ist eine Parallelität der Kurven ersichtlich, die erreichten Potentialwerte unterscheiden sich allerdings so deutlich, dass eine lange, ausgeprägte Signifikanz zustande kommt.

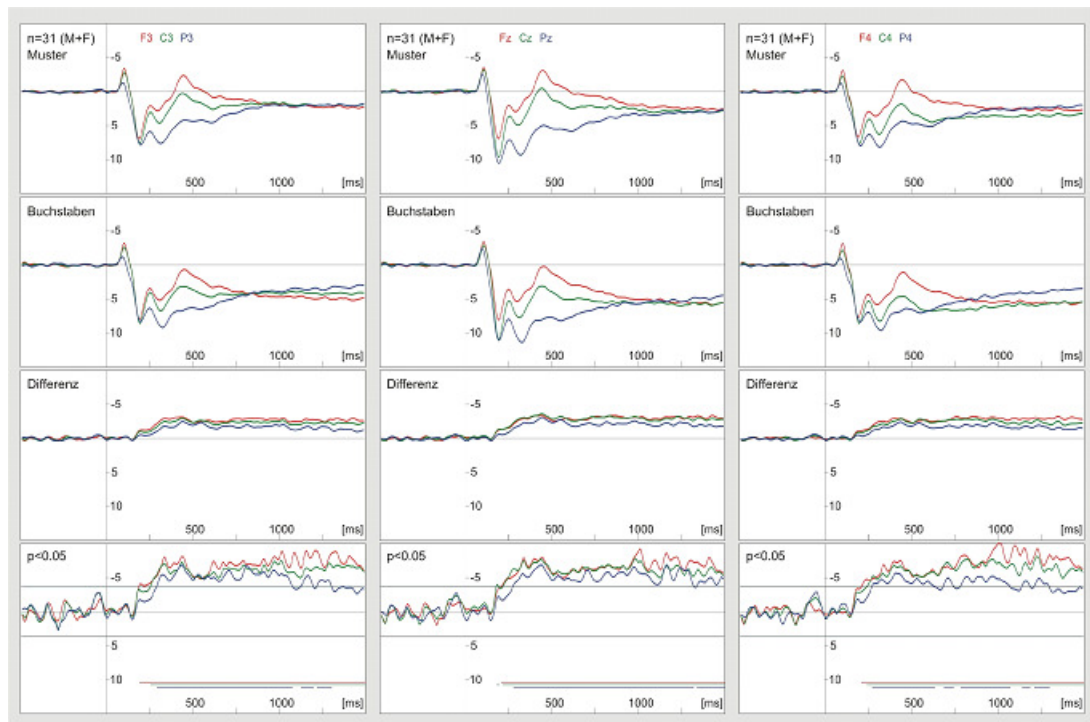


Abb. 4.8.: EKP Muster versus Buchstabe (Vergrößerung siehe Anhang)

4.3.2. TNT

4.3.2.1. Target versus Nontarget

Der Vergleich der Potentialkurven unter der Target- und der Nontarget-Bedingung zeigt vor allem Differenzen im frühen Bereich bis 500 ms. Bei etwa 100 ms lässt sich in zentralen und parietalen Ableitungen eine kurze Signifikanz nachweisen: Die Reaktion auf den Nontarget-Reiz beginnt früher als auf den Target-Reiz. Eine deutlichere Signifikanz lässt sich im Zeitraum von 200 bis 500 ms in allen Ableitungen erkennen. Unter der Target-Bedingung verläuft der Kurvenabfall rascher und die in der Nontarget-Bedingung evozierten stufenförmigen Verzögerungen bei 250 ms sind weniger ausgeprägt vorhanden. Die Potentiale erreichen bei Darbietung des Zielreizes bei 300 bis 400 ms deutlich höhere, positive Werte. Im restlichen Zeitfenster ist lediglich bei 950 ms in den parietalen Ableitungen noch eine kurze Signifikanz zu erkennen, die durch die Entfernung der Potentialkurven zur Nulllinie unter der Target-Bedingung hervorgerufen wird.

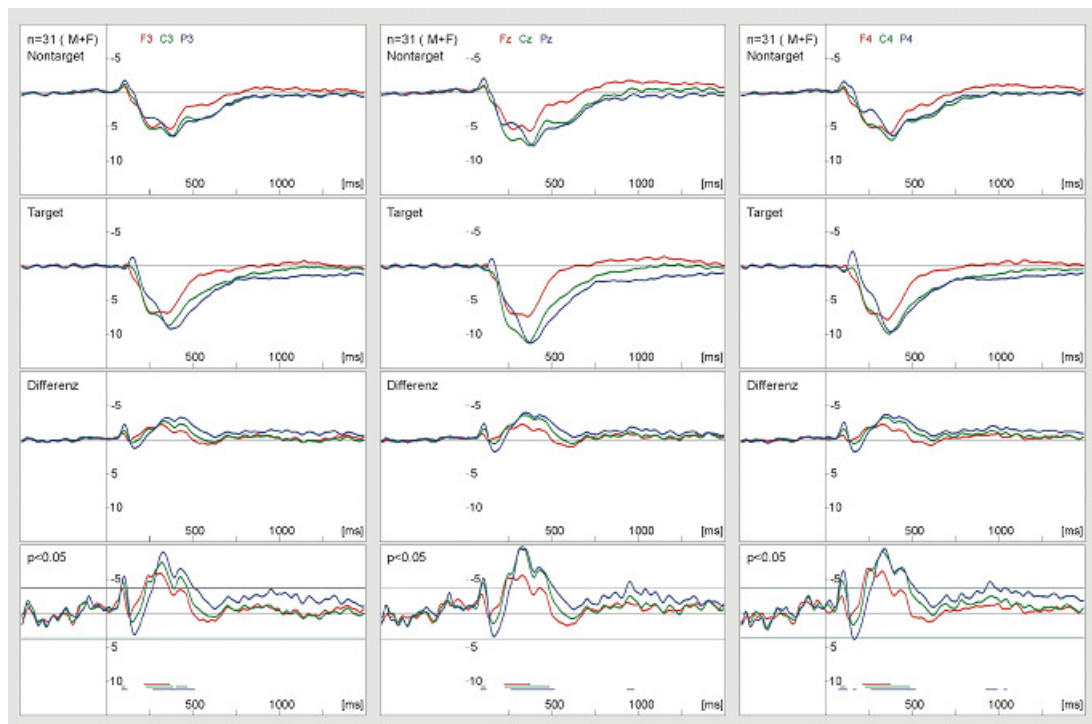


Abb. 4.9.: EKP Target versus Nontarget (Vergrößerung siehe Anhang)

4.4. Geschlechtsspezifische Aspekte

4.4.1. Allgemeines

Die bisher präsentierten Ergebnisse gründen sich auf die Betrachtung der gesamten Probandengruppe. Im Folgenden sollen nun die Unterschiede der Potentialkurven zwischen Männern und Frauen dargestellt werden. Da das Probandenkollektiv sich aus 15 Frauen und 16 Männern zusammensetzt, können bei diesem Vergleich nahezu gleich große Gruppen gebildet werden.

Die Betrachtung von Geschlechtsunterschieden gewinnt in der psychiatrischen Grundlagenforschung zunehmend an Bedeutung (vgl. Kapitel 2.1.3.7.). Angesichts der Aktualität dieser Fragestellung erscheint es angemessen, auch in dieser Studie die möglicherweise unterschiedlichen ereigniskorrelierten Potentiale von Frauen und Männern zu beleuchten. Hierzu werden, getrennt nach Stimuluskategorie, die Potentialkurven von Frauen und Männern sowie die berechneten Differenzkurven gezeigt.

4.4.2. Vergleich männlicher und weiblicher Probanden in der BAW-Studie

4.4.2.1. Schachbrett

Der Stimulus „Schachbrett“ führt bei Frauen und Männern insbesondere in den ersten 500 ms zu sich unterschiedlich darstellenden Potentialkurven. Die Reaktionen erscheinen bei den Frauen stärker ausgeprägt: Die Verzögerung des Abfalls des ersten negativen Maximums zum positiven Gipfel ist vor allem in den lateralen Ableitungen wesentlich deutlicher zu erkennen als bei den Männern, außerdem werden bei den folgenden positiven Maximalwerten sowie der negativen Komponente bei 400 ms höhere Werte erreicht. Als signifikant kann dies jedoch nur

an zwei Stellen betrachtet werden, die sich im zeitlichen Verlauf äußerst kurz darstellen. In den linken parietalen Ableitungen zeigt sich bei etwa 120 ms eine durch den unterschiedlichen Abfall bedingte Differenz, die signifikant ist. Die mittleren zentralen Ableitungen von Männern und Frauen unterscheiden sich bei 250 ms äußerst kurzfristig signifikant, da die Potentialkurve der Männer hier eine negative Welle mit einem Maximum von 2 μV beschreibt, während die Kurve der Frauen bei 7 bis 8 μV verbleibt.

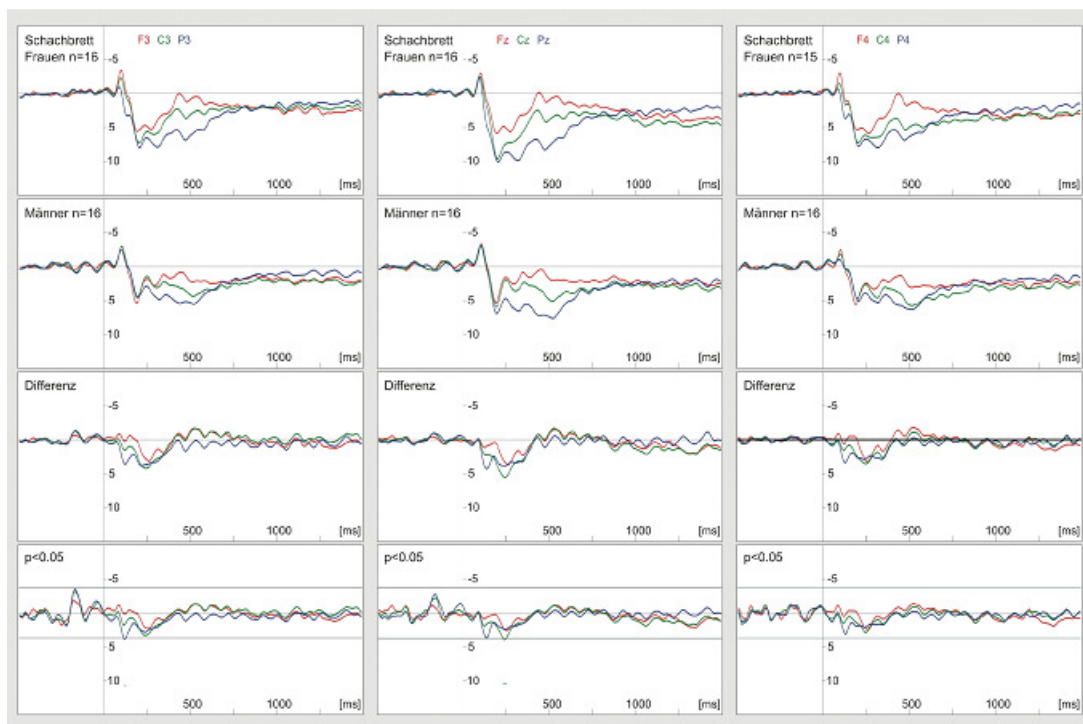


Abb. 4.10.: Vergleich Frauen und Männer beim Stimulus „Schachbrett“ (Vergrößerung siehe Anhang)

4.4.2.2. Muster

Auch unter der Muster-Bedingung liegen die größten Unterschiede zwischen den Potentialkurven von Frauen und Männern im frühen Bereich bis etwa 600 ms. Ebenso ist hier analog der Betrachtungen unter der Schachbrett-Bedingung eine deutlichere Ausprägung der Kurven bei den weiblichen Probanden zu sehen: Sowohl negative, wie auch positive Komponenten erreichen höhere Werte. Eine Signifikanz erreicht diese Differenz allerdings nur in der mittleren parietalen Ableitung bei 150

ms. Ursache hierfür scheint der frühere und stärkere Abfall dieser Kurve bei den Frauen zu sein.

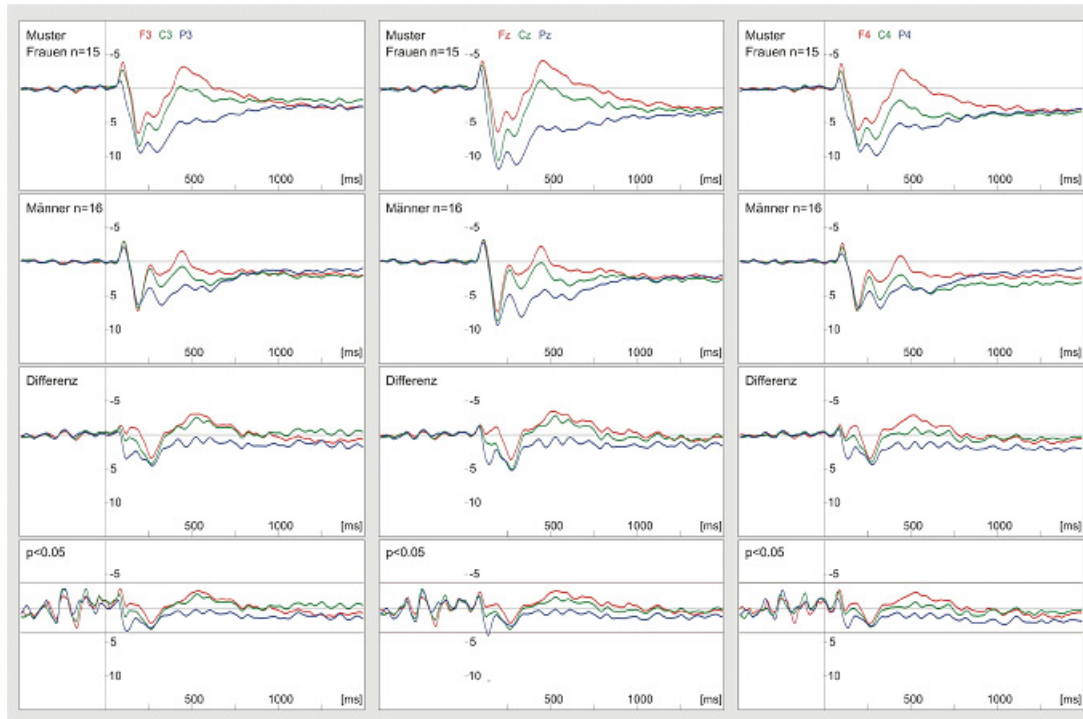


Abb. 4.11: Vergleich Frauen und Männer beim Stimulus „Muster“ (Vergrößerung siehe Anhang)

4.4.2.3. Buchstabe

Beim Stimulus „Buchstabe“ beschränken sich die Unterschiede zwischen Frauen und Männern nicht auf den ersten Teil der Aufzeichnungszeit. Auch hier erscheinen die Potentialverläufe der Frauen insgesamt „ausgeprägter“. Dies zeigt sich besonders im zweiten positiven Gipfel bei 300 ms, der bei den weiblichen Probanden höhere Werte erreicht als das erste positive Maximum. Dies ist bei den Männern nicht der Fall. Die Negativierung bei 250 ms zwischen den beiden positiven Maxima erscheint bei den Männern dagegen stärker. Diese beiden Effekte führen dazu, dass die Differenzen zwischen den linken und mittleren zentralen Ableitungen im Bereich von 270 ms kurzzeitige Signifikanz erreichen. Eine weitere Signifikanz zeigt sich bei 125 ms in der mittleren zentralen Ableitung, die wiederum durch den schnelleren Kurvenabfall bei Frauen zustande kommt. Gegen Ende der Aufzeichnungszeit nähern sich die

Differenzkurven wieder der Signifikanzlinie ($p < 0,05$), welche allerdings nicht mehr erreicht wird. Dies wird durch die höheren Werte der lang anhaltenden positiven Potentiale bei den weiblichen Probanden ausgelöst.

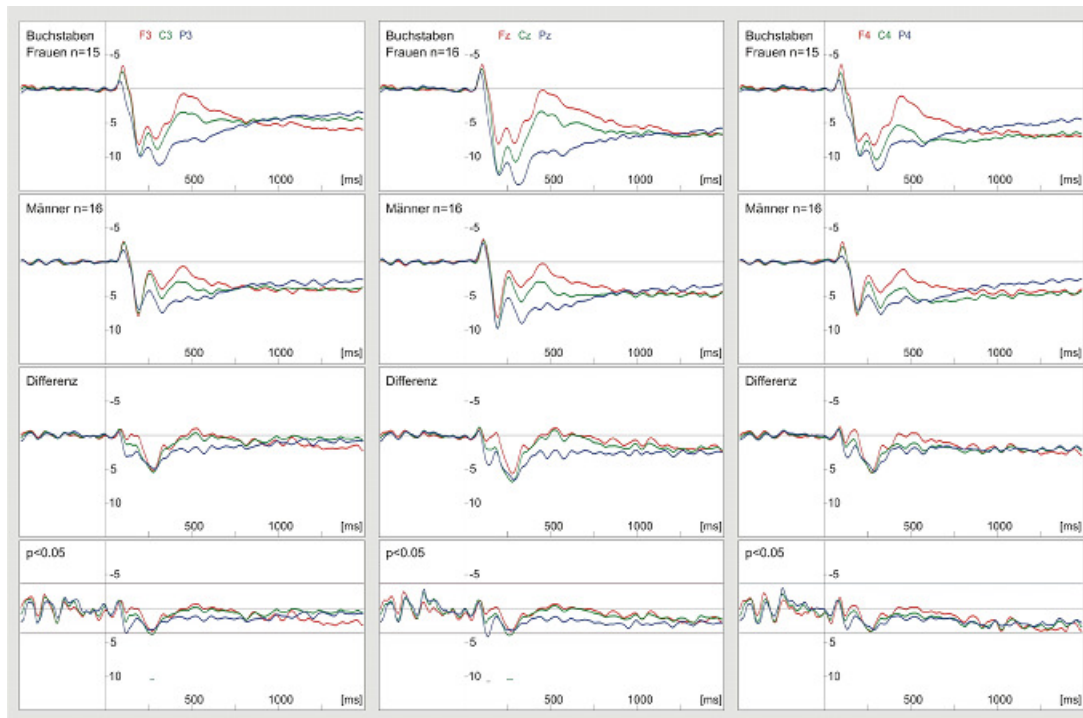


Abb. 4.12.: Vergleich Frauen und Männer beim Stimulus „Buchstabe“ (Vergrößerung siehe Anhang)

4.4.3. Vergleich männlicher und weiblicher Probanden in der TNT-Studie

4.4.3.1. Target

Beim Betrachten des Stimulus „Target“ zeigen sich keinerlei signifikante Differenzen zwischen Frauen und Männern. Obwohl die Potentialkurven der Frauen sich insbesondere im Bereich der positiven Maxima deutlich stärker ausgeprägt darstellen, entstehen auch hier keine Signifikanzen. Auffällig ist eine in den frontalen Ableitungen am größten erkennbare Differenz, die zum Zeitpunkt -100 ms, also 100 ms vor Stimulusbeginn auftritt und fast die Signifikanzlinie überschreitet.

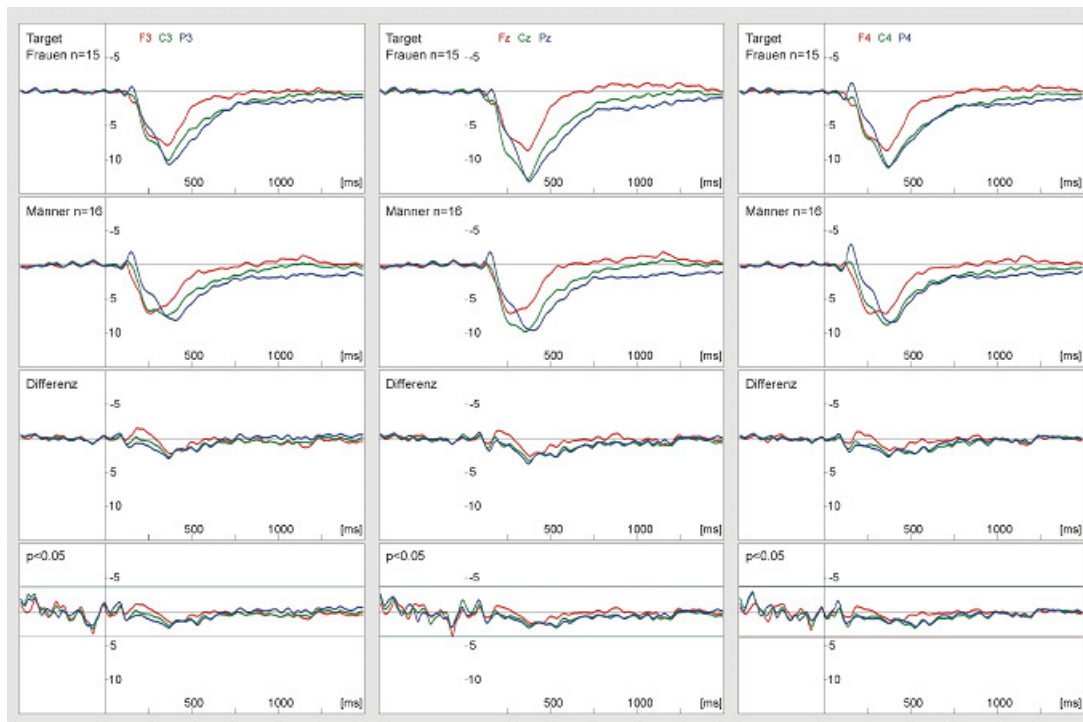


Abb. 4.13.: Vergleich Frauen und Männer beim Stimulus „Target“ (Vergrößerung siehe Anhang)

4.4.3.2. Nontarget

Auch unter dieser Bedingung wird die Tendenz deutlich, dass die Reaktionen der Frauen eine stärkere Ausprägung aufweisen. Die Differenz der mittleren parietalen Ableitung erreicht bei 500 ms sogar kurzzeitig eine Signifikanz. Ansonsten bewegen sich die Differenzkurven auch hier in einem Bereich, der deutlich innerhalb der Signifikanzlinien liegt.

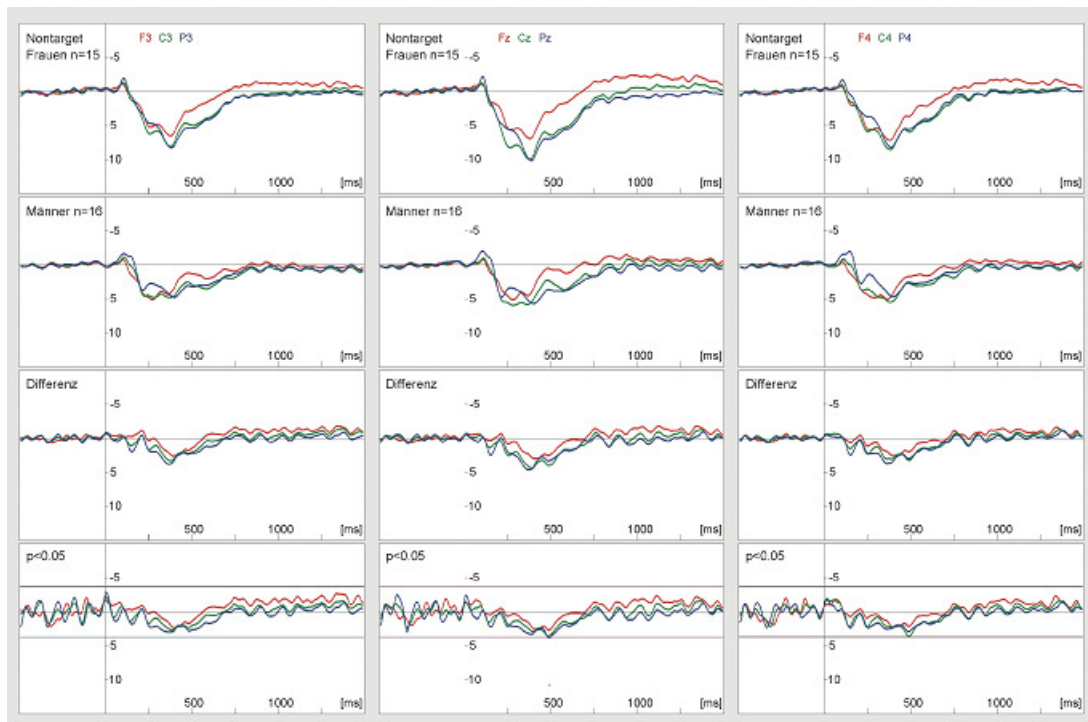


Abb. 4.14.: Vergleich Frauen und Männer beim Stimulus „Nontarget“ (Vergrößerung siehe Anhang)

4.4.4. Zusammenfassung

In dieser Teiluntersuchung ergeben sich zwar vereinzelt in sehr kurzen, auf wenige Messpunkte beschränkten Zeitbereichen signifikante Unterschiede in den ereigniskorrelierten Potentialen von Frauen und Männern. Diese erschienen aber bei der letztlich doch eher noch kleinen Fallzahl vorläufig noch nicht sicher interpretierbar.

4.5. Zusammenfassung

In diesem Kapitel sollen vorzugsweise die für die Beantwortung der Fragestellungen dieser Arbeit relevanten Ergebnisse zusammengefasst werden. Der Schwerpunkt wird hierbei auf den Kurvenvergleichen in der BAW-Studie liegen, da hier die Unterschiede der Potentialkurven im Vordergrund stehen und diese wesentlich für die Betrachtung der verschiedenen Reaktionen auf unterschiedlich komplexe Reize sind.

4.5.1. BAW

Die während des BAW-Programms von den drei verschiedenen Stimuluskategorien evozierten ereigniskorrelierten Potentiale weisen in ihren Kurvenverläufen eine erkennbare Parallelität auf. Neben einem gemeinsamen ersten negativen Peak bei 100 ms, sind auch die beiden folgenden positiven Maxima bei 200 ms und 300 ms bei allen Bedingungen zu sehen. Bei 400 ms ist in allen Ableitungen eine negative Komponente erkennbar, die abhängig von der Stimuluskategorie jedoch sehr unterschiedlich ausgeprägt ist. Daran schließt sich ein lang anhaltendes, verschieden hohes positives Potential an. Bis zu einem Zeitpunkt von etwa 750 ms bilden die frontalen Ableitungen unter allen Bedingungen die negativsten Potentiale, die parietalen Ableitungen die positivsten. Danach überschneiden die Kurven der parietalen Ableitungen das positive Potential der restlichen Potentialkurven. Die Divergenz der Potentialkurven der unterschiedlichen Ableitorte ist bei 400 ms am stärksten ausgeprägt und wird danach wieder geringer.

Beim Vergleich der Bedingungen „Schachbrett“ und „Muster“ ist eine Differenz der evozierten Potentialkurven besonders auffällig, die auch in fast allen Ableitungen signifikant wird. Hierbei handelt es sich um die negative Komponente bei 400 bis 500 ms. Diese ist beim Stimulus „Muster“ wesentlich deutlicher ausgeprägt. Eine weitere Signifikanz zeigt sich zentral und parietal im ersten positiven Maximum bei 200 ms, da diese Potentiale ebenfalls unter der Muster-Bedingung höhere Werte erreichen.

Die anhaltenden positiven Potentiale, die sich bis Aufzeichnungsende fortsetzen, zeigen keine großen Differenzen.

Bei der Betrachtung eines Buchstabens kommt es ebenfalls zu einer negativen Komponente im Bereich von 450 ms. Diese Ableitungen weisen außerdem eine lang anhaltende, signifikante Positivierung auf. Die negative Komponente bei ca. 450 ms ist dabei in das positive Niveau der ereigniskorrelierten Potentiale eingebettet. Beim Vergleich der Potentialkurven der Bedingungen „Muster“ und „Buchstabe“ kommt es demzufolge zu einer Überlagerung der unter beiden Bedingungen entstehenden Effekte, d.h. der unter der Buchstaben-Bedingung hervorgerufenen lang anhaltenden Positivierung und der unter beiden Bedingungen erkennbaren negativen Komponente bei 450 ms. Folgende Abbildung soll dies verdeutlichen:

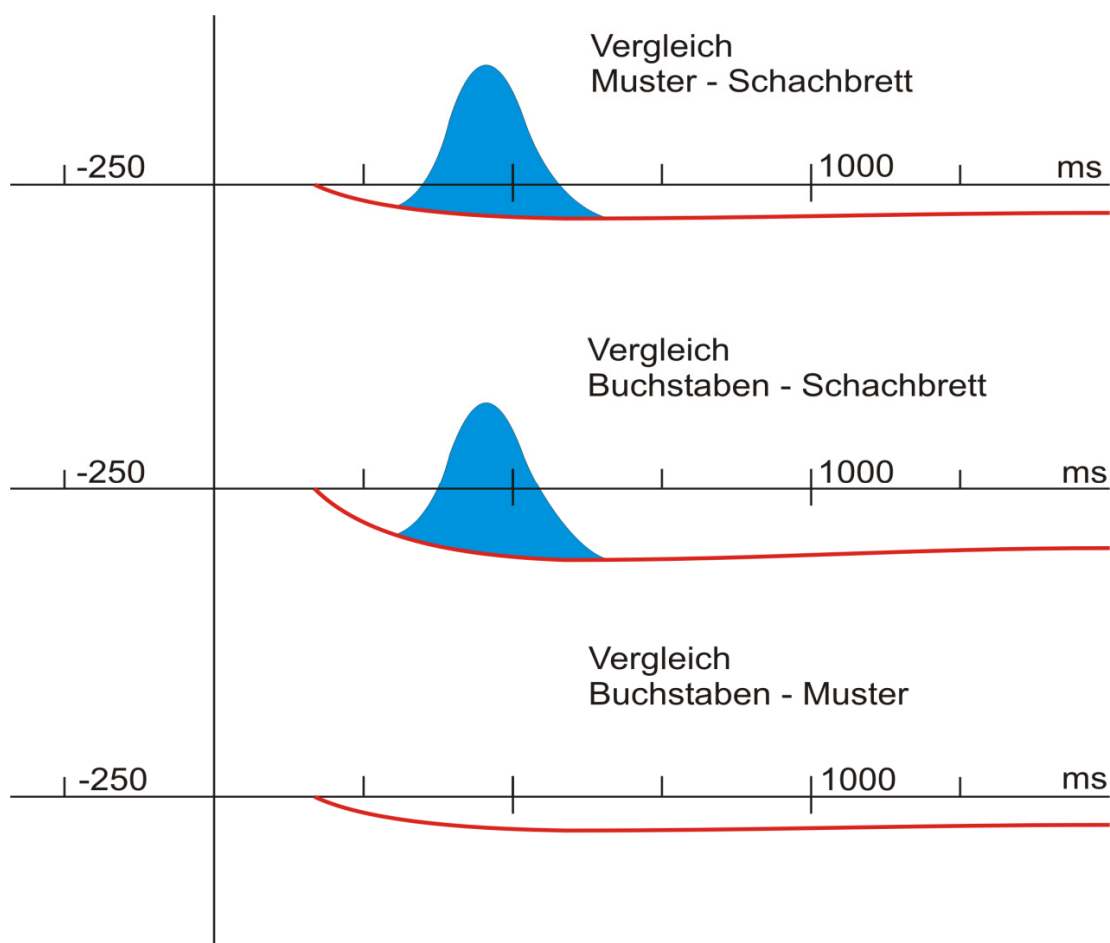


Abb. 4.15.: Schematische Darstellung der Überlagerungseffekte bei Differenzkurven (zur Verfügung gestellt von Heinz, 2006)

Unterteilt man die Gesamtgruppe in weibliche und männliche Probanden, so lassen sich geschlechtsspezifische Tendenzen erkennen, die allerdings nur sehr wenige Signifikanzen erreichen. Damit konnte trotz optischer Kurvenunterschiede zunächst keine wirklich relevante Geschlechterdifferenz gefunden werden.

4.5.2. TNT

Analog zu den Reaktionen auf unterschiedliche Reize in der BAW-Studie, sind auch bei den verschiedenen Bedingungen der TNT-Studie Parallelitäten erkennbar. Es zeigen sich jedoch größere Unterschiede zwischen den Potentialkurven, die zu deutlichen Signifikanzen führen.

Die Potentiale unter der Target-Bedingung erreichen vor allem im Bereich der positiven Maxima deutlich höhere Werte, die in zentralen und parietalen Ableitungen am stärksten ausgeprägt sind und in allen Ableitungen zwischen 250 und 500 ms signifikant werden. Die Annäherung an die Nulllinie erfolgt in der Target-Bedingung durch einen steileren Anstieg der Kurven schneller als in der Nontarget-Bedingung. Während aber beim Nontarget-Reiz nahezu das Ruhepotential wieder erreicht wird, ist dies in den Kurven des Target-Reizes weniger zu erkennen.

In den Reaktionen auf das TNT-Programm unterscheiden sich Frauen und Männer in ähnlicher Weise wie in der BAW-Studie: Die Komponenten erscheinen bei weiblichen Probanden ausgeprägter, was aber nur zu wenigen, geringen Signifikanzen führt.

5. Diskussion

5.1. BAW

5.1.1. Komponenten und Signifikanzen

Jeglicher Interpretation von ereigniskorrelierten Potentialen liegt die Annahme zugrunde, dass die auf der Kopfhaut abgeleiteten Potentialdifferenzen als ein Korrelat für das Vorliegen einer Gehirnaktivität bzw. komplexer Informationsverarbeitungsprozesse betrachtet werden können (Coles und Rugg, 1995; Eschrich, 2006). Somit basiert auch die Beantwortung der Fragestellungen dieser Dissertation auf der Interpretation der dargestellten Ergebnisse.

Das Hauptziel dieser Arbeit war die Untersuchung von ereigniskorrelierten Potentialen gesunder Probanden, die durch verschiedene visuelle Stimuli evoziert wurden. Die Unterschiede lagen hierbei in der Komplexität der Reize, die in drei Kategorien eingeteilt waren. Erwartet wurden signifikante Differenzen der dabei ausgelösten ereigniskorrelierten Potentiale. Da diese Studie an gesunden Versuchspersonen durchgeführt wurde, können die Ergebnisse in aktuell laufenden Untersuchungen mit an Schizophrenie erkrankten Personen als Kontrollwerte dienen, um die Besonderheiten von ereigniskorrelierten Potentialen dieser Patienten zu beleuchten.

Unabhängig von der Komplexität des Reizes ist in den Kurvenverläufen eine Parallelität zu erkennen, welche die prinzipielle Verarbeitung eines visuellen Stimulus widerspiegelt. Durchgehend sind Komponenten erkennbar, die in allen Versuchsbedingungen evoziert werden, sich aber teilweise erheblich, auch statistisch signifikant, in ihren Amplituden und Flächen voneinander unterscheiden.

Als einfachster Reiz wurde in dieser Studie ein Schachbrettmuster verwendet. Hintergrund hierfür war die „Einfachheit“ dieses Stimulus: Im Gegensatz zu dem unregelmäßigen Muster, welches als komplexer Reiz benutzt wurde, ist beim Schachbrett direkt offensichtlich, dass es keine inhaltliche Information geben kann, d.h. in diesem Bild kann sich kein sinnvoller Inhalt „verstecken“, nach dem der Proband suchen müsste. Dies stellt sich beim unregelmäßigen Muster anders dar: Hier wird der Betrachter zur Suche nach potentiell versteckter Information animiert. Als gehaltvollster Reiz wurde schließlich ein unregelmäßiges Muster gezeigt, in dem ein Buchstabe zu erkennen war. Die Ergänzung des Musters durch einen semantischen Inhalt ließ als Reaktion eine Generierung komplexerer Hirnaktivitäten erwarten.

Betrachtet man die Unterschiede zwischen den durch den einfachen Schachbrettreiz hervorgerufenen Potentialen und den durch komplexere Muster evozierten Kurvenverläufen, so fällt auf, dass bestimmte Komponenten unterschiedlich stark ausgeprägt sind.

Hervorstechend ist besonders die negative Komponente bei 450 ms, die sowohl unter der Muster- als auch unter der Buchstaben-Bedingung auftritt. Die früh einsetzende, aber lang anhaltende Positivierung unter der Buchstaben-Bedingung ist ebenfalls auffällig. Beim Vergleich der verschiedenen Bedingungen kommt es somit zur Überlagerung dieser Effekte. Die Differenzkurven zeigen demzufolge entsprechende Signifikanzen:

- Der Vergleich von Schachbrett- und Muster-Bedingung zeigt eine positive Signifikanz bei 450 bis 550 ms.
- Die Differenzkurve von Schachbrett- und Buchstabenbedingung verdeutlicht beide o.g. Effekte: Die Signifikanz „spart“ den entsprechenden Zeitraum um 450 ms aus.
- Die Signifikanzen beim Vergleich von Muster- und Buchstaben-Bedingung sind von der frühen und lang anhaltenden Positivierung bestimmt und

dementsprechend ab 250 ms bis Aufzeichnungsende durchgehend. Hier gibt es im Bereich 450 bis 550 ms keine Differenz, da diese Komponente in beiden Bedingungen auftritt.

Wie bereits in Kapitel 2.1.2.3.2. beleuchtet, wurde eine negative Komponente im Bereich um 400 ms zumeist im Zusammenhang mit Sprachverarbeitung untersucht und in Verbindung mit dem Auftreten unerwarteter Ereignisse (d.h. unpassende Wörter) gebracht. In der vorliegenden Untersuchung wird eine negative Komponente im Bereich von 450 bis 550 ms evoziert. Ein Zusammenhang erscheint hier unwahrscheinlich, da in dieser Studie nicht mit einem sprachverarbeitendem Prozess als Stimulus gearbeitet wurde.

Das Hinzufügen einer Unregelmäßigkeit in ein einfaches Muster evoziert also eine negative Komponente bei 450 bis 550 ms. Im Folgenden soll diese Komponente als N450 bezeichnet werden. Es scheint dabei keinen Unterschied zu machen, ob ein sinnvoller Inhalt in Form eines Buchstaben zu erkennen ist oder die „Information“ lediglich in „Unregelmäßigkeit“ oder „Unordnung“ besteht. Somit scheint die Unregelmäßigkeit eines Musters bereits auszureichen, um einen informationsabhängigen Prozesses in Gang zu setzen, der diese N450 auslöst.

Desweiteren scheint durch das Erkennen eines Buchstabens ein komplexes kognitives System im Sinne eines „semantischen Apparates“ aktiviert zu werden, welches sich in den bei etwa 200 ms beginnenden, anhaltenden positiven Potentialen widerspiegelt.

Die Interpretation der verschiedenen Ausprägungen weiterer Komponenten kann die Beobachtungen und Annahmen bisheriger Untersuchungen in interessanter Weise ergänzen. Die bis dato wenig untersuchte Komponente P200 zeigt sich in dieser Studie bei beiden komplexeren Reizen ausgeprägter als beim Betrachten des einfachen Schachbrettreizes. Dies unterstützt die Vorstellung des N100-P200-Komplexes als ein Korrelat einer orientierenden Reaktion, die den Vorgang des

Abgleichens mit bekannten Gedächtnisinhalten repräsentiert (vgl. Kapitel 2.1.2.1.). Wird spontan kein bekannter Inhalt gefunden, wird diese Reaktion „intensiviert“: die P200 erhöht sich. Dies leitet zu dem Schluss, dass das Erkennen eines Buchstabens im komplexen Muster ebenfalls diese intensivierte Suche erfordert, da der gezeigte visuelle Reiz als Bild an sich nicht als „bekannt“ gilt. Vorstellbar ist also, dass zunächst kognitiv geprüft wird, ob der visuelle Stimulus unabhängig von seiner Sinnhaftigkeit als Gedächtnisinhalt gespeichert ist. Ist dies nicht der Fall, beginnt mit der erhöhten P200 die „Interpretation“, bzw. die Suche nach einem Inhalt des gesehenen Reizes. Interessant erscheint in diesem Zusammenhang auch die Beobachtung von Adachi et al. (2012) bezüglich einer Beeinflussung bereits der frühen EKP-Komponenten (bis 250 ms) durch das Maß an Interesse an der inhaltlichen Information.

Im Gegensatz zu der P200 gehört die P300 zu den am besten untersuchten EKP-Komponenten (vgl. Kapitel 2.1.2.2.). Evoziert wurde sie zumeist durch Reize, die für den Probanden unerwartet waren oder wenn ein Stimulus entgegen der Erwartung nicht präsentiert wurde. In dieser Studie zeigt sich die P300 in den Reaktionen auf die Muster-Bedingung zwar höher, aber nicht signifikant erhöht gegenüber den Potentialverläufen beim Schachbrett-Stimulus. Beim Buchstaben-Reiz wird diese Komponente, ausgehend von einem durch die früh einsetzende Positivierung höheren Niveau, im Vergleich zu den anderen Bedingungen signifikant. Somit ist hier von einer Überlagerung von Effekten auszugehen.

Diese Ergebnisse bestätigen somit die bereits in der Voruntersuchung gemachten Beobachtungen: In allen Bedingungen zeigen sich überwiegend positive ereigniskorrelierte Potentiale, sowohl bei der Betrachtung des Musters als auch beim Buchstaben-Reiz zeigt sich eine ausgeprägte negative Komponente bei 450 ms (N450) und das Erkennen eines Buchstaben löst eine lang anhaltende Positivierung aus.

5.1.2. Zusammenfassende Interpretation

Insgesamt betrachtet kann festgestellt werden, dass sich in der vorliegenden Untersuchung die ereigniskorrelierten Potentiale gesunder Probanden in Abhängigkeit von der Komplexität verschiedener Reize in sehr spezifischer Weise unterscheiden. Zwar sind unter allen Reizbedingungen Parallelitäten in den Potentialkurven erkennbar, die verschiedenen Komponenten sind jedoch sehr unterschiedlich ausgeprägt. Besonders deutlich wird dies in den Komponenten P200, P300 und N450 sowie in den langsamen positiven Potentialen. Die grundsätzliche Ähnlichkeit in den Kurvenverläufen lässt sich auf die Vergleichbarkeit der Reizbedingungen zurückführen: Alle dargebotenen Reize waren visueller Natur und das Setting des Versuchs wurde während des gesamten Ablaufs nicht verändert.

Die in dieser Studie zweifelsohne auffälligste Komponente N450 entsteht beim Betrachten der beiden komplexeren Stimuli, d.h. eines unregelmäßigen Musters und eines Buchstabens. Dabei kommt es unter der Buchstaben-Bedingung nicht zur Ausbildung einer höheren N450. Das Hinzufügen einer semantischen Information hat demnach keinen Einfluss auf die Höhe dieser Komponente. Sowohl eine inhaltliche Information als auch eine einfache Unregelmäßigkeit in einem Muster lösen einen kognitiven Prozess aus, der zur Entstehung einer N450 führt.

Die lang andauernden, positiven Potentiale sind unter allen Bedingungen zu erkennen. Am deutlichsten zeigen sich diese in den Potentialverläufen beim Betrachten der Buchstaben-Reize. Diese sind signifikant höher ausgeprägt als in den beiden anderen Versuchsbedingungen. Das Erkennen eines Buchstabens scheint demzufolge einen kognitiven Prozess in Gang zu setzen, der als „semantischer Apparat“ bezeichnet werden könnte. Die anhaltende Positivierung bezieht sich dabei am stärksten auf frontale und zentrale Ableitungen.

Die Betrachtung der Differenzkurven hebt die beiden zuvor beschriebenen Prozesse hervor. Hierbei wird die Überlagerung der beiden Effekte unter der Buchstaben-

Bedingung deutlich, da sich beispielsweise beim Vergleich mit den ereigniskorrelierten Potentialen unter der Muster-Bedingung eine fehlende Differenz im Bereich der N450 zeigt und somit die anhaltende Positivierung beim Betrachten eines Buchstaben zu einer durchgehend negativen signifikanten Differenzkurve ab etwa 200 ms führt. Im Vergleich zur Schachbrett-Bedingung kommt es zu einer Unterbrechung der Signifikanzen in der Differenzkurve, da eine N450 in die ereigniskorrelierten Potentiale eingebettet ist.

Im Zusammenhang mit der Vorstellung einer Initiierung eines semantischen Informationsverarbeitungsprozesses nach dem Buchstaben-Reiz ist die Beobachtung der geschlechtsspezifischen Aspekte interessant. Generell ist unter allen Bedingungen die Tendenz zu erkennen, dass sich die Komponenten der Potentialkurven bei den weiblichen Probanden ausgeprägter, also mit höherer Amplitude darstellen. Zu signifikanten Unterschieden führt dies allerdings nicht. Diese Differenzen zeigen sich deutlich beim Betrachten der Buchstaben. Sowohl die ersten beiden positiven Peaks als auch die langsamen positiven Potentiale erreichen bei Frauen höhere Werte. Interpretatorisch zu werten ist dies allerdings aufgrund der fehlenden Signifikanzen in dieser Untersuchung nicht. Jedoch kann in diesem Zusammenhang auf Studien verwiesen werden, in denen sich der Geschlechtsunterschied signifikant darstellte. So konnten Yuan et al. (2012) bei der Untersuchung neurophysiologischer Korrelate unerwarteter Stimuli eine Signifikanz der langsamen positiven Potentiale nachweisen. Sie schlossen daraus auf eine erweiterte, kognitive Verarbeitung von emotional nicht relevanten Inhalten bei Frauen.

Bezüglich der Lokalisation bzw. der Ableitungsorte sind in ähnlicher Weise Tendenzen erkennbar, deren genaue Beurteilung und Zuordnung mit den Ergebnissen der vorliegenden Studie nicht hinreichend möglich sind. Während sich die Unterschiede in Bezug auf linke und rechte Seite sowie Kopfmittle gering darstellen, ist in allen Versuchsbedingungen zu erkennen, dass die parietalen Ableitungen durchgehend die stärkste Positivierung erfahren und sich während der langsamen positiven Potentiale am ehesten der Nulllinie annähern. Negative

Komponenten sind dagegen in den frontalen Ableitungen am stärksten ausgeprägt. Im Bereich der exogenen Komponenten von evozierten Potentialen ist die Zuordnung von Komponenten zu Hirnarealen in weit größerem Umfang möglich als bei der Betrachtung von endogenen Komponenten (vgl. Eschrich, 2006). Eine Abhängigkeit der Lokalisation der evozierten Potentiale vom Alter der Probanden konnten Li et al. (2012) zeigen. Demnach bedienen sich ältere Erwachsene anderer, frontal betonter kognitiver Verarbeitungssysteme bei der Einordnung von Tatsachen. So scheint die Lokalisation von mehreren Faktoren beeinflusst zu werden, die eine genaue Zuordnung derzeit nicht zufriedenstellend ermöglichen.

Insgesamt kann somit festgehalten werden, dass sich der Erwartung gemäß die ereigniskorrelierten Potentiale in Abhängigkeit von der Komplexität verschiedener Reize unterscheiden. Besonderes Augenmerk verdienen hierbei die Komponente N450 sowie die langsamen positiven Potentiale. Die Annahmen der Voruntersuchung konnten weitgehend bestätigt werden. Die Ergebnisse ermöglichen den Vergleich zwischen gesunden Versuchspersonen und z.B. an Schizophrenie erkrankten Probanden oder anderen Patientengruppen. Zweifelsohne unterstreicht diese Studie die Notwendigkeit einer intensiven Weiterverfolgung grundlegender Fragestellungen auf dem Gebiet der ereigniskorrelierten Potentiale, um das Ziel der Bereicherung des klinischen Alltags um eine objektive Untersuchungsmethode erreichen zu können.

5.2. TNT und Bewert

5.2.1. Einordnung in den Kontext der BAW-Studie

Der Fokus dieser Studie lag, wie schon mehrfach erwähnt und erläutert, auf den Ergebnissen des ersten Versuchsteils. Diese stellen die wesentlichen Resultate der BAW-Studie im engeren Sinne dar, die durch die beiden weiteren Versuchsteile ergänzt werden. Auf diese Weise wurde die Fragestellung der zu reproduzierenden Voruntersuchung erweitert und ermöglicht somit durch die Generierung weiterer Daten auch zukünftig gezielte Vergleiche der Kontrollgruppe zur Gruppe der untersuchten Schizophreniepatienten. Beispielsweise kann für die Betrachtung bestimmter Komponenten oder Kurvenverläufe auf die erhobenen Daten zurückgegriffen werden. Die unmittelbare Interpretation der isoliert betrachteten Teilaufgaben, z.B. die Signifikanzen in den Kurvenvergleichen der TNT-Aufgabe, entspricht jedoch nicht der ursprünglichen Fragestellung dieser Dissertation und soll daher nur ansatzweise erfolgen (siehe Kapitel 5.2.2.).

Neben diesem ergänzenden Charakter führen die beiden weiteren Teilaufgaben jedoch auch auf verschiedene Weise zur besseren Interpretierbarkeit der Ergebnisse des ersten Versuchsteils. Durch die direkte Angabe der Probanden während des „Bewert“-Programms konnte gewährleistet werden, dass die Versuchspersonen auch tatsächlich, wie vorgesehen, zwischen den Stimuluskategorien unterscheiden konnten. Die Daten eines Probanden, dem es nicht möglich wäre, den in einem unregelmäßigen Muster erkennbaren Buchstaben zu identifizieren, wären für die Beantwortung der Fragestellung nach den Reaktionen auf verschieden komplexe Reize unbrauchbar, da es für diesen Probanden keinen Unterschied in der Komplexität der Reize gäbe. Eine auf diese Weise hervorgerufene Verfälschung konnte mit dieser ergänzenden Teilaufgabe ausgeschlossen werden.

Die mit einer Zählaufgabe verbundene dritte Teilaufgabe „TNT“ testete unter anderem die Konzentrationsfähigkeit der Probanden über einen Zeitraum von

mehreren Minuten. Somit konnte geprüft werden, ob die Aufmerksamkeit der Probanden vergleichbar und ausreichend war, die einzelnen Programmdurchläufe konzentriert zu verfolgen. Eine Versuchsperson, die das notwendige Maß an Konzentrationsfähigkeit nicht hätte aufbringen können, wäre als ungeeignet anzusehen gewesen, da sie die gestellte Aufgabe nicht hätte erfüllen können. Dies ist jedoch eine Voraussetzung für die Beantwortung der Fragestellung im Rahmen dieser Studie, die mit dem gewählten Studiendesign zusammenhängt. In der vorliegenden Studie musste kein Proband aus diesem Grunde ausgeschlossen werden.

5.2.2. Interpretatorische Ansätze

Bei der zusammenfassenden Betrachtung der ereigniskorrelierten Potentiale bei der dritten Teilaufgabe fällt insbesondere eine Komponente auf, die in den verschiedenen Stimuluskategorien gut voneinander abgrenzbar erscheint. Diese Komponente ist, wie in Kapitel 2.2.2.2. bereits vermutet, die P300. Erscheint auf dem Bildschirm der zu zählende Reiz, unabhängig davon, ob ein anderer Reiz zeitgleich dazu geboten wird (Target-Nontarget), stellt sich die P300 ausgeprägter dar. Dies bestätigt bisherige Beschreibungen der P300 (siehe Kapitel 2.1.2.2.2.), die einen Zusammenhang mit der Erwartung eines bestimmten Reizes herstellen. Die in Kapitel 5.1.2. gemachten Überlegungen bezüglich der P300 im Hinblick auf eine mögliche Beeinflussung durch die Art des präsentierten Reizes kann jedoch aufgrund der Stimulusart in dieser Teilaufgabe nicht untermauert werden. Hier ist nicht von einem Unterschied in der Komplexität der Reize auszugehen, so dass von einer Abhängigkeit der P300 vom Erscheinen des Zielreizes auszugehen ist. Trifft der zu zählende Zielreiz ein, scheint ein Prozess in der Informationsverarbeitung abzulaufen, der zu einem höheren Ausschlag der P300 führt. Vorstellbar wäre ein zu diesem Zeitpunkt stattfindender Prozess, der das Gehirn und seine Funktionen in einen Zustand erhöhter Aufmerksamkeit versetzen möchte oder eine Verbindung zur gestellten Aufgabe einleitet und daran „erinnern“ soll, dass ein jetzt Auftrag auszuführen ist. Korpela et al. (2011) stellte einen Zusammenhang zwischen der Beanspruchung des Arbeitsgedächtnisses und der Höhe sowie der Latenz der P300 her. Denkbar wäre demzufolge, dass so dem aktuell aufmerksamkeitsfordernden

Prozess auch bei beanspruchtem Arbeitsgedächtnis Rechnung getragen werden soll. Somit wird die Vermutung einer „Erinnerungsfunktion“ unterstützt.

Im Vergleich zu den Ergebnissen des ersten Versuchsteils ist auffallend, dass es hier teilweise deutlich größere Unterschiede zwischen den Potentialkurven gibt. Dies scheint hauptsächlich mit der Lokalisation der Potentialgenerierung zusammenzuhängen. Bei den vergleichsweise „einfachen“ Reizen während dieses Untersuchungsteils wäre also höchstwahrscheinlich eine eindeutigere Zuordnung zu bestimmten Hirnregionen möglich, als dies beim ersten Versuchsteil der Fall ist. Mit der in dieser Studie angewendeten Messmethode ist allerdings aufgrund der geringen räumlichen Auflösung eine genauere Lokalisation nicht möglich.

Wird dem Probanden der Zielreiz in Form des Target-Reizes dargeboten, ist in den Potentialkurven eine langsamere Tendenz zum Wiedererreichen der Nulllinie erkennbar als dies bei der Präsentation des Nontarget-Reizes der Fall ist. Möglicherweise verzögert also das Ausführen der Zählaufgabe bzw. das Merken der „neuen“ Zahl den Annäherungsprozess der Potentialkurven an das Ruhepotential.

Neben den beschriebenen Aspekten der P300, der Potentialgenerierung und der Dauer der Potentiale wird die Interpretation dieses Teils der Studie durch den Vergleich mit den Daten von Patientengruppen enorm erweitert werden können. Daher sind die Ergebnisse der TNT-Auswertungen in erster Linie als Grundlage für weitere Vergleichsstudien anzusehen.

5.3. Klinische Aspekte und Ausblick

5.3.1. Relevanz im psychiatrischen Kontext

Diese Dissertation beschäftigt sich mit Fragestellungen, die im Rahmen der neurophysiologischen Forschung der psychiatrischen Grundlagenforschung zuzuordnen sind. Durch die Generierung und Untersuchung von Daten gesunder Probanden kann eine Grundlage geschaffen werden, von der Norm abweichende Ergebnisse im Rahmen weiterer klinischer Studien entsprechend zu interpretieren. Durch Vergleiche mit Patientengruppen könnte es somit in Zukunft einerseits möglich sein, die ereigniskorrelierten Potentiale im diagnostischen Umfeld zur Anwendung zu bringen, andererseits können hierdurch weitere Erkenntnisse neurophysiologischer Art gewonnen werden.

Die Informationsverarbeitung des gesunden Gehirns wird als komplexer Vorgang auch weiterhin Gegenstand intensiver Forschung sein. Um in diesem Zusammenhang den Vorteilen der EKP-Methode die entsprechende Geltung zu verschaffen, ist eine weitere, intensivierte Forschung notwendig. Die Weiterentwicklung von Methode und Interpretationen muss hierzu in den Fokus der Betrachtung gerückt werden. Besonders ist die in Kapitel 2.1.1. angedeutete Verknüpfung mit anderen Untersuchungstechniken zu erwähnen. Die Kombination von Verfahren, die sowohl eine hohe zeitliche, als auch eine hohe räumliche Auflösung zum Ziel hat, wäre auf dem gesamten Gebiet der neurophysiologischen Grundlagenforschung ein enormer Gewinn. Dies lässt sich beispielsweise auch aus den bisherigen Ergebnissen von Lawson et al. (2012) erahnen, die den Versuch der Kombination unternahmen und eine Beeinflussung der visuellen Verarbeitung von der emotionalen Persönlichkeitsstruktur untersuchten.

Auch die Integrierung der Untersuchungsergebnisse in den klinischen Alltag wird erst durch weitere notwendige Forschung ermöglicht werden können. Ein Anliegen dieser Studie ist es, einen Beitrag zu diesem Weg zu leisten.

Bezüglich der Ergebnisse der BAW-Studie im engeren Sinne ist festzustellen, dass die in den vorangegangenen Kapiteln beschriebenen Veränderungen der ereigniskorrelierten Potentiale in Abhängigkeit von verschiedenen komplexen Reizen die Interpretation bestimmter Komponenten wie z.B. die P300 und die N400 erweitert und vertieft und die Vielschichtigkeit der Beeinflussung der Potentialkurven verdeutlicht. Die dargestellten Ergebnisse belegen eine Abhängigkeit der Potentialkurven von der Komplexität des präsentierten Reizes und weisen auf einen gesonderten Verarbeitungsprozess semantischer Informationen hin. Weiterhin stehen die Ergebnisse zum Vergleich mit einer Gruppe von an Schizophrenie erkrankten Patienten zu Verfügung. Dieser Schritt wird ein weiterer Beitrag zur möglichen diagnostischen Anwendung sein.

Somit kann die vorliegende Studie nicht nur zur Beantwortung der konkreten Fragestellungen dienen, sondern auch eine Grundlage für die Entwicklung weiterer Untersuchungsziele darstellen.

5.3.2. Mögliche weitere Fragestellungen

5.3.2.1. Geschlecht

Der Einfluss des Geschlechts auf ereigniskorrelierte Potentiale ist bis zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht hinreichend beleuchtet worden. Die getrennte Betrachtung nach Geschlecht in der vorliegenden Studie zeigt in allen Untersuchungsbedingungen zwar Tendenzen, allerdings letztlich keine signifikanten Differenzen. Eine Studie unter dieser Fragestellung müsste an einem weit größeren Probandenkollektiv erfolgen, um signifikante Aussagen treffen zu können. Die gedanklichen Ansätze, die diese Tendenzen zulassen, deuten aber darauf hin, dass eine Untersuchung dieser Frage durchaus lohnend erscheint (vgl. Yuan et al., 2012). Allerdings sei an dieser Stelle nochmals erwähnt, dass auch signifikante Effekte, die

in bestimmten Probandengruppen nachweisbar sind, im Einzelfall immer durch die großen interindividuellen Unterschiede überlagert werden können (siehe Kapitel 2.1.4.). Dies ist, wie bereits in Kapitel 2.1.4.1. beschrieben, bei der Betrachtung von Spezifität und Sensitivität zu berücksichtigen.

5.3.2.2. Differenzierung komplexer Reize

Aus den Fragestellungen dieser Studie lassen sich in Verbindung mit den ermittelten Ergebnissen weitere zu untersuchende Fragen entwickeln. So drängt sich beispielsweise die Frage nach einer differenzierteren Betrachtung komplexer Reize förmlich auf. Vor dem Hintergrund der Idee eines durch den Buchstabenreiz aktivierten „semantischen Apparats“ (siehe Kapitel 5.1.2.) erscheint ein Vergleich mit nicht-semantischen, aber in anderer Weise verschiedenen Stimuli spannend, wie z.B. der Präsentation von Gesichtern oder Landschaften vs. Buchstaben. Die Untersuchung von Xu et al. (2011) unterstützt in diesem Zusammenhang die Annahme von verschiedenen kognitiven Verarbeitungssystemen für Gesichter und andere Objekte, was eine mögliche Fragestellung beeinflussen sollte.

5.3.2.3. Komponenten

Die vorliegende Studie erweitert und vertieft die Interpretation bestimmter Komponenten der ereigniskorrelierten Potentiale. Auf der Basis dieser neuen, ergänzenden Erkenntnisse lassen sich Fragestellungen entwickeln, die die Betrachtung einzelner Komponenten und deren Beeinflussung durch verschiedene Faktoren in ihr Zentrum rückt. Dazu erscheinen Studiendesigns geeignet, deren Fokus auf klar definierten, einzelnen Komponenten und Variablen liegt. Durch einen so erreichten Erkenntnisgewinn könnte es gelingen, die Interpretationsmöglichkeiten der im gesamten betrachteten Potentialkurven im Hinblick auf komplexe Informationsverarbeitungsprozesse entscheidend zu vertiefen.

6. Literaturverzeichnis

Adachi S, Morikawa K, Nittono H (2012) Early event-related brain potentials that reflect interest for content information in the media. *Neuroreport*, 23(5): 331–335.

Altenmüller E (1996) Ereigniskorrelierte Potentiale. In: Stöhr M, Dichgans J, Buettner UW, Hess CW, Altenmüller E (eds). *Evozierte Potentiale*, 3. Auflage, Springer, Berlin-Heidelberg-New York: 557–587.

Amenedo E, Diaz F (1998) Automatic and effortful processes in auditory memory reflected by event-related potentials: Age related findings. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 108: 361–369.

Arnfred SM (2012) Proprioceptive information processing in schizophrenia. *Dan Med J*, 59(3): 4421.

Barret SE, Rugg MD (1990) Event-related potentials and the semantic matching of pictures. *Brain and Cognition*, 14: 201–212.

Bediou B, Hénaff MA, Bertrand O, Brunelin J, d'Amato T, Saoud M, Krolak-Salmon P (2007) Impaired fronto-temporal processing of emotion in schizophrenia. *Neurophysiol Clin*, 37(2): 77–87.

Besson M, McCar F (1987) An event-related potential analysis of incongruity in music and other non-linguistic contexts. *Psychophysiology*, 24: 14–25.

Birbaumer N, Schmidt RF (2006) *Biologische Psychologie*, 6. Auflage, Springer, Berlin.

Blair RC, Karniski W (1993) An alternative method for significance testing of waveform difference potentials. *Psychophysiology*, 30: 518–524.

Bland M (1996) *An introduction to medical statistics – second edition*. Oxford university press, Oxford, New York, Tokyo.

Braff DL, Light GA (2004) Preattentional and attentional cognitive deficits as targets for treating schizophrenia. *Psychopharmacology*. 174: 75–85.

Buckner RL, Koutstaal W (1998) Functional neuroimaging studies of encoding, priming, and explicit memory retrieval. *Proc Natl Acad Sci USA*, 95: 891–898.

Casarotto S, Bianchi AM, Ricciardi E, Gentili C, Vanello N, Guazzelli M, Pietrini P, Chiarenza GA, Cerutti S (2008) Spatiotemporal dynamics of single-letter reading: a combined ERP-fMRI study. *Arch Ital Biol*, 146(2): 83–105.

Coles MGH, Rugg MD (1995) ERPs: an introduction. In Rugg MD, Coles MGH (eds), *Electrophysiology of mind*. Oxford university press, Oxford, New York, Tokyo.

Comerchero MD, Polich J (1999) P3a and P3b from typical auditory and visual stimuli. *Clinical Neurophysiology*, 110: 24–30.

Cornblatt BA, Malhotra AK (2001) Impaired attention as an endophenotype for molecular genetic studies of schizophrenia. *Am. J. Med. Genet*, 105: 11–15.

Courchesne E, Hillyard SA, Galambos R (1975) Stimulus novelty, task relevance and the visual evoked potential in man. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 39: 131–143.

Courchesne E, Kilman BA, Galambos R, Lincoln A (1984) Autism: Processing of novel auditory information assessed by event-related brain potentials. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 59: 238–248.

Daltrozzo J, Wioland N, Kotchoubey B (2007) Sex differences in two event-related potentials components related to semantic priming. *Arch Sex Behav*, 36(4): 555–568.

Ecevit C, Ozgenç F, Gökçay F, Celebisoy N, Baran M, Yağc RV (2012) The diagnostic value of multimodal evoked potentials in the determination of subclinical neurological involvement of Wilson's disease. *Eur J Gastroenterol Hepatol*, 24(6): 627–623.

Eschrich K (2006) Akustische EKP-Untersuchung von Aufmerksamkeitsprozessen (Mismatch Negativity / Negative difference) bei Patienten mit zyklischer Psychose. Inaugural-Dissertation. Julius-Maximilian-Universität Würzburg.

Ford JM, Gray M, Whitfield SL, Turken AU, Glover G, Faustman WO, Mathalon DH (2004) Acquiring and inhibiting prepotent responses in schizophrenia: event-related brain potentials and functional magnetic resonance imaging. *Arch Gen Psychiatry*, 61(2):119–129.

Fries P, Reynolds JH, Rorie AE, Desimone R (2001) Modulation of oscillatory neural synchronization by selective visual attention. *Science*, 23: 1560–1563.

Gaillard AWK (1988) Problems and paradigms in ERP research. *Biol. Psychol*, 26: 91–109.

Guillem F, Bicu M, Pampoulova T (2003) The cognitive and anatomo-functional basis of reality distortion in schizophrenia: A view from memory event-related potentials. *Psychiatry Research*, 117: 137–158.

Gunter TC, Jackson JL, Mulder G (1992) An electrophysiological study of semantic processing in young and middle-aged academics. *Psychophysiology*, 29: 38–54.

Gunter TC, Jackson JL, Mulder G (1996) Focussing on aging: an electrophysiological exploration of spatial and attentional processing during reading. *Biol Psychol*, 43: 103–145.

Harbin TJ, Marsh GR, Harvey MT (1984) Differences in the late components of the event-related potential due to age and to semantic and non-semantic tasks. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 59: 489–496.

Heinz G, Rau I, Schneider B (1991) Visuell ausgelöste P300-Wellen. *Z EEG EMG*, 22: 208–216.

Heinz G (1995) Aktuelle Vorstellungen über die Bedeutung der Ereigniskorrelierten Potentiale in der psychiatrischen Diagnostik. In: Rösler, M. (ed): *Psychopathologie. Psychologie Verlags Union*, Weinheim: 261–274.

Heinz G, Schneider A, Hüttermann E, Rubly M, Falkei P (2006) Zunehmende Reizkomplexität und ereigniskorrelierte Potentiale. Posterpräsentation, Dresden.

Haenschel C, Bittner RA, Haertling F, Rotarska-Jagiela A, Maurer K, Singer W, Linden DE (2007) Contribution of impaired early-stage visual processing to working memory dysfunction in adolescents with schizophrenia: a study with event-related potentials and functional magnetic resonance imaging. *Arch Gen Psychiatry*, 64: 1229–1240.

Henson RN (2003) Neuroimaging studies of priming. *Prog Neurobiol*, 70: 53–81.

Hillyard SA, Hink RF, Schwent VL, Picton TW (1973) Electrical signs of selective attention in the human brain. *Science*, 182: 177–180.

Hoffman JE (1990) Event-related potentials and automatic and controlled processes. In: Rohrbaugh JW, Parasuraman R, Johnson R Jr (eds). *Event Related Brain Potentials*. Oxford University Press, Oxford, New York, Tokyo: 145–157.

Hoffrogge AH (2003) Ereigniskorrelierte Potentiale als Indikatoren der sprachsemantischen Verarbeitung – Alterseffekte. Dissertation. Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen.

Holcomb PJ, Neville HJ (1990) Auditory and visual semantic priming in lexical decision: A comparison using event-related potentials. *Language and cognitive processes*, 5: 281–312.

Ito J, Shibasaki H, Kimura J (1992) Somatosensory event-related potentials following different stimulus conditions. *Int J Neurosci*, 65: 239–246.

Jasper HH (1958) The ten-twenty electrode system of the International Federation. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 10: 371–375.

Jessen F (1997) Ereigniskorrelierte Potentiale bei Emotionsinduktion durch visuelle Reize. Dissertation. Medizinische Fakultät der Universität des Saarlandes.

Johnson R Jr (1986) A triarchic model of P300 amplitude. *Psychophysiology*, 23: 367–384.

Johnson SC, Lowery N, Kohler C, Turetsky BI (2005) Global-local visual processing in schizophrenia: evidence for an early visual processing deficit. *Biol Psychiatry*, 58: 937–946.

Johnston PJ, Stojanov W, Devir H, Schall U (2005) Functional MRI of facial emotion recognition deficits in schizophrenia and their electrophysiological correlates. *Eur J Neurosci*, 22: 1221–1232.

Kim KH, Kim JH, Yoon J, Jung KY (2008) Influence of task difficulty on the features of event-related potential during visual oddball task. *Neurosci Lett*, 445: 179–183.

Kimura M, Katayama J, Murohashi H (2008) Underlying mechanisms of the P3a task-difficulty effect. *Psychophysiology*, 45: 731 – 741.

Knight RT (1984) Decreased response to novel stimuli after prefrontal lesions in man. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 59: 9–20.

Korpela J, Huottilainen M (2011) Visual ERP P3 amplitude and latency in standalone and embedded visual processing task. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*, 2011: 781–784.

Kraepelin E (1919) *Dementia Praecox and Paraphrenia*. Livingstone, Edinburgh.

Kutas M, Hillyard SA (1980) Reading senseless sentences: Brain potentials reflect semantic incongruity. *Science*, 207: 203–205.

Kutas M, Hillyard SA, Bentin S (1993) Electrophysiological evidence for task effects on semantic priming in auditory word processing. *Psychophysiology*, 30: 162–169.

Lachaux JP, Rodriguez E, Martinerie J, Varela FJ (1999) Measuring the phase synchrony in brain signals. *Human Brain Mapping*, 8: 194–208.

Lawson AL, Liu X, Joseph J, Vagnini VL, Kelly TH, Jiang Y (2012) Sensation seeking predicts brain responses in the old-new task: Converging multimodal neuroimaging evidence. *Int J Psychophysiol*, 2012 Apr 5. Electronic publishment ahead of print.

Li L, Gratton C, Fabiani M, Knight RT (2012) Age-related frontoparietal changes during the control of bottom-up and top-down attention: an ERP study. *Neurobiol Aging*, 2012 Mar 26. Electronic publishment ahead of print.

Lowitzsch K, Maurer K, Hopf HC, Tackmann W, Claus D (1993) *Evozierte Potentiale bei Erwachsenen und Kindern*. 2. Auflage, Thieme Verlag, Stuttgart.

Lutzenberger W, Elbert T, Rockstroh B, Birbaumer N (1985) *Das EEG – Psychophysiologie und Methodik von Spontan-EEG und Ereigniskorrelierten Potentialen*. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo.

Meisenzahl EM, Frodl T, Müller D, Schmitt G, Gallinat J, Zetzsche T, Marcuse A, Juckel G, Leinsinger G, Hahn K, Möller HJ, Hegerl U (2004) Superior temporal gyrus and P300 in schizophrenia: a combined ERP/structural magnetic resonance imaging investigation. *J Psychiatr Res*, 38: 153–162.

Mohr B, Pulvermüller F, Rockstroh B, Endrass T (2008) Hemispheric cooperation -a crucial factor in schizophrenia? Neurophysiological evidence. *Neuroimage*, 41: 1102–1110.

Näätänen R, Gaillard A, Mäntysalo S (1978) Early selective attention effect on evoked potentials reinterpreted. *Acta Psychol-Amst*, 42: 313–329.

Näätänen R, Picton TW (1986) N2 and automatic versus controlled processes. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 38: 169–186.

Neely JH (1977) Semantic priming and retrieval from lexical memory: roles of inhibitionless spreading activation and limited-capacity attention. *J Exp Psych Gen*, 106: 226–254.

Nelson CA 3rd, McCleery JP (2008) Use of Event-Related Potentials in the Study of Typical and Atypical Development. *J Am Acad Child Adolesc Psychiatry*, 47: 1252–1261.

Neuhaus AH, Opgen-Rhein C, Urbanek C, Gross M, Hahn E, Ta TM, Koehler S, Dettling M (2009) Spatiotemporal mapping of sex differences during attentional processing. *Hum Brain Mapp*, 30: 2997–3008.

Nuechterlein KH, Dawson ME (1984) Information-processing and attentional functioning in the developmental course of schizophrenic disorders. *Schizophr Bull*, 10: 160–203.

Oldfield RC (1971) The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9: 97–113.

Osterhout L, Holcomb PJ (1995) Event-related potentials and language comprehension. In: Rugg MD, Coles MGH, *Electrophysiology of mind: Event-related potentials and cognition*. Oxford university press, Oxford, New York, Tokyo.

Pannasch S (2003) Ereignisbezogene Veränderungen der visuellen Fixation. Dissertation. Technische Universität Dresden.

Patel SH, Azzam PN (2005) Characterization of N200 and P300: Selected Studies of the Event-Related Potential. *Int J Med Sci*, 2: 147–154.

Pelosi L, Blumhardt LD (1999) Effects of age on working memory: an event-related potential study. *Brain Res Cogn Brain Res*, 7: 321–334.

Picton TW, Bentin S, Berg P, Donchin E, Hillyard SA, Johnson R jr, Miller GA, Ritter W, Ruchkin DS, Rugg MD, Taylor MJ (2000) Guidelines for using human event-related potentials to study cognition: recording standards and publication criteria. *Psychophysiology*, 37: 127–152.

Polich J (1986) Attention, probability, and task demands as determinants of P300 latency from auditory stimuli. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 63: 251–259.

Polich J, McIsaac HK (1994) Comparison of auditory P300 habituation from active and passive conditions. *Intern J Psychophysiol*, 17: 25–34.

Rösler F (1982) *Hirnelektrische Korrelate kognitiver Prozesse*. Springer, Berlin.

Roth WT, Cannon EH (1972) Some features of the auditory evoked response in schizophrenics. *Archives of General Psychiatry*, 27: 466–471.

Samar VJ, Bopardikar A, Rao R, Swartz K (1999) Wavelet Analysis of Neuroelectric Waveforms: A Conceptual Tutorial. *Brain and Language*, 66: 7–60.

Sams M, Paavilainen P, Alho K, Näätänen R (1985) Auditory frequency discrimination and event-related potentials. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 62: 437–448.

Schandry R (1989) *Lehrbuch der Psychophysiologie*. 2. Auflage, Psychologie Verlags Union, Weinheim.

Schneider A (1999) *Durch computergenerierte Gesichter ausgelöste ereigniskorrelierte Potentiale: Der Einfluss von Affekt und Farbe*. Dissertation. Medizinische Fakultät der Universität des Saarlandes.

Simons RF, Graham FK, Miles MA, Chen X (2001) On the relationship of P3a and the novelty P3. *Biological Psychology*, 56: 207–218.

Spencer K, Polich J (1999) Post-stimulus EEG spectral analysis and P300: attention task and probability. *Psychophysiology*, 36: 220–236.

Squires NK, Squires K, Hillyard S (1975) Two varieties of long-latency positive waves evoked by unpredictable auditory stimuli in man. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 38: 387–401.

Steffensen SC, Ohran AJ, Shipp DN, Hales K, Stobbs SH, Fleming DE (2008) Gender-selective effects of the P300 and N400 components of the visual evoked potential. *Vision Res*, 48(7): 917–925.

Stöhr M, Dichgans J, Buettner UW, Hess CW, Altenmüller E (1996) *Evozierte Potentiale*. 3. Auflage, Springer Verlag Berlin, Heidelberg: 561–583.

Strauss DJ, Delb W, Amelio R, Falkai P (2005) Neural Synchronization Stability in the Tinnitus Decompensation. *Conference Proceedings 2nd International IEEE EMBS*: 186 –189.

Sumich AL, Kumari V, Heasman BC, Gordon E, Brammer M (2006) Abnormal asymmetry of N200 and P300 event-related potentials in subclinical depression. *J Affect Disord*, 92: 171–183.

Sutton S, Braran M, Zubin J, John ER (1965) Evoked potentials correlates of stimulus uncertainty. *Science*, 150: 1187–1188.

Suyama N, Hoshiyama M, Shimizu H, Saito H (2008) Event-related potentials for gender discrimination: an examination between differences in gender discrimination between males and females. *Int J Neurosci*, 118: 1227–1237.

Turetsky BI, Kohler CG, Indersmitten T, Bhati MT, Charbonnier D, Gur RC (2009) Facial emotion recognition in schizophrenia: When and why does it go awry? *Schizophr Res*, 94: 253–263.

Turker H, Terzi M, Bayrak O, Cengiz N, Onar M, Us O (2008) Visual evoked potentials in differential diagnosis of multiple sclerosis and neurobehcet's disease. *Tohoku J Exp Med*, 216: 109–116.

Van Beijsterveldt CE, van Baal GC, Molenaar PC, Boomsma DI, de Geus EJ (2001) Stability of genetic and environmental influences on P300 amplitude: a longitudinal study in adolescent twins. *Behav Genet*, 31: 533–543.

Van Beijsterveldt CE, van Baal GC (2002) Twin and family studies of the human electroencephalogram: a review and a meta-analysis. *Biol Psychol*, 61: 111–138.

Van der Stelt O, Kok A, Smulders F (1998) Cerebral event-related potentials associated with selective attention to color: Developmental changes from childhood to adulthood. *Psychophysiology*, 35: 227–239.

Van der Stelt O, Lieberman JA, Belger A (2006) Attentional Modulation of Early-Stage Visual Processing in Schizophrenia. *Brain Res*, 1125: 194–198.

Vohs JL, Hetrick WP, Kieffaber PD, Bodkins M, Bismark A, Shekhar A, O'Donnell BF (2008) Visual event-related potentials in schizotypal personality disorder and schizophrenia. *J Abnorm Psychol*, 117: 119–131.

West CW, O'Rourke T, Holcomb PJ (2003) Event-related brain potentials and language comprehension: A cognitive neuroscience approach to the study of intellectual functioning. In: Soraci S, McIlvane W (eds). *Perspectives on fundamental processes in intellectual functioning*. Ablex-Verlag, Stamford.

Xu M, Iramina K (2011) The influence of stimulus onset asynchrony on neuronal suppressive phenomenon in face processing: an event-related potential study. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*, 2011: 3849–3852.

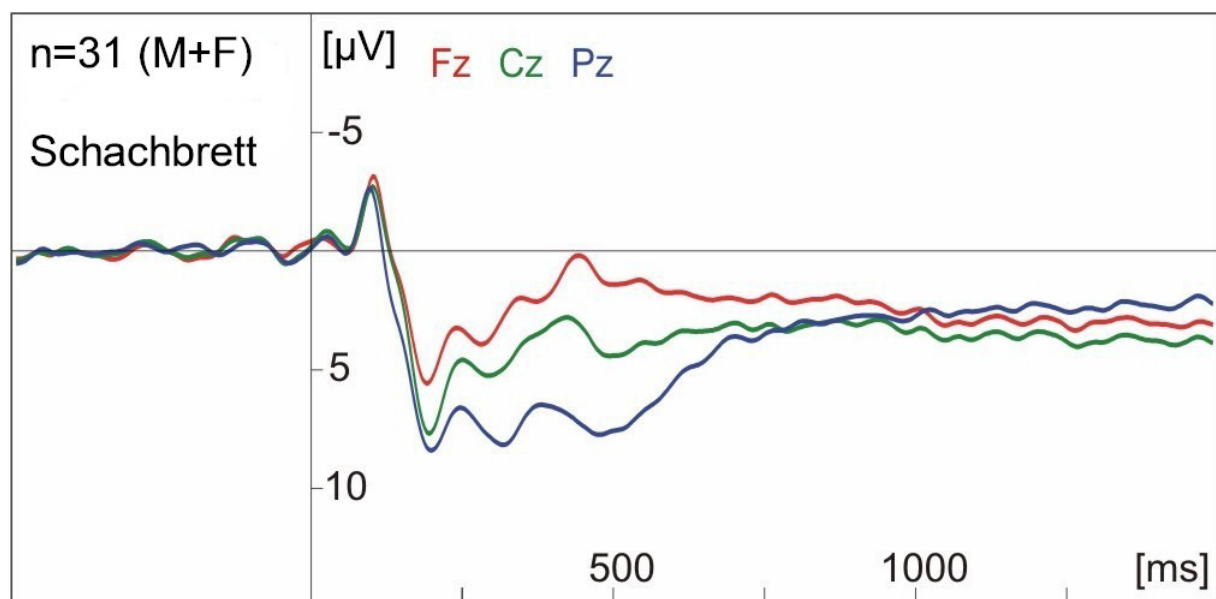
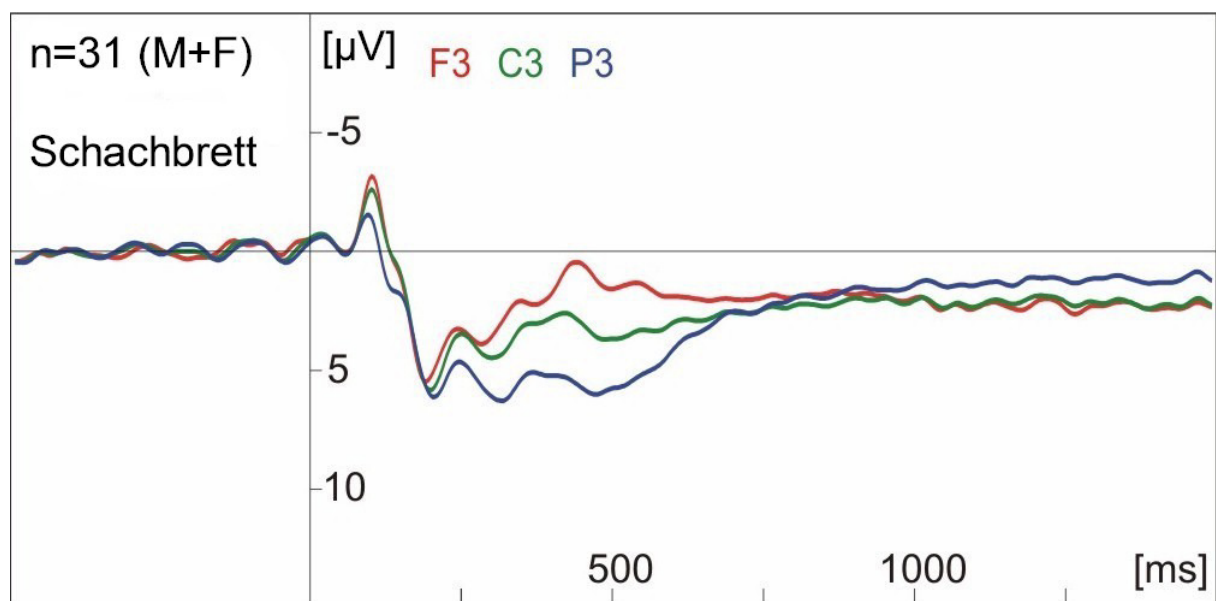
Yamaguchi S, Knight RT (1991) P300 generation by novel somatosensory stimuli. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 78: 50–58.

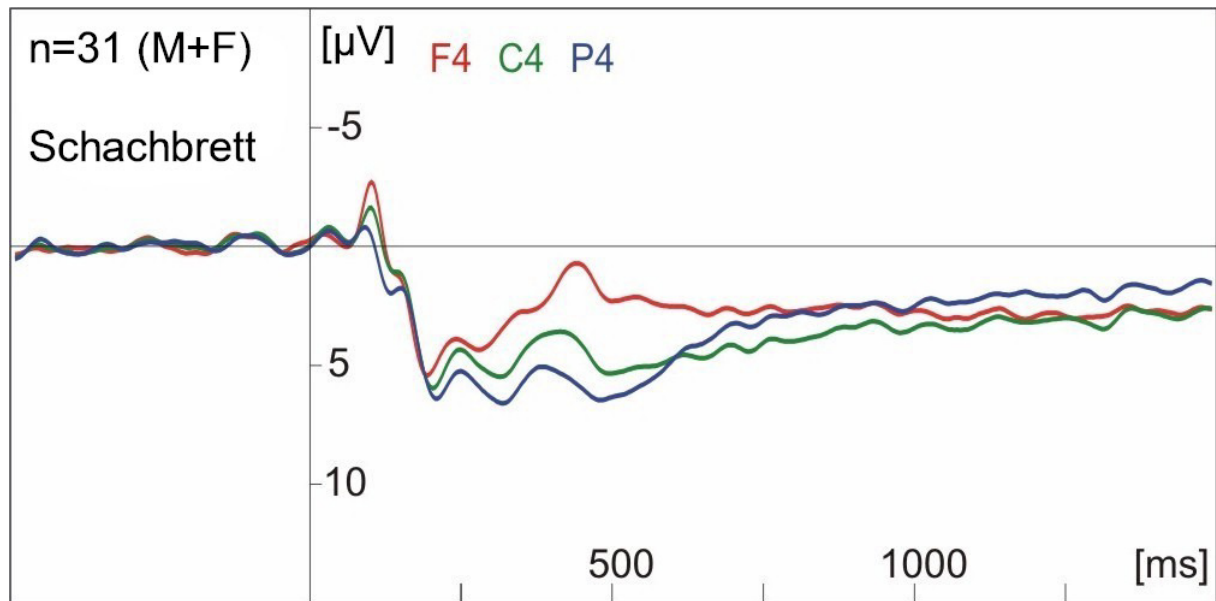
Yuan J, Xu S, Li C, Yang J, Li H, Yuan Y, Huang Y (2012) The enhanced processing of visual novel events in females: ERP correlates from two modified three-stimulus oddball tasks. *Brain Res*, 1437: 77–88.

7. Anhang

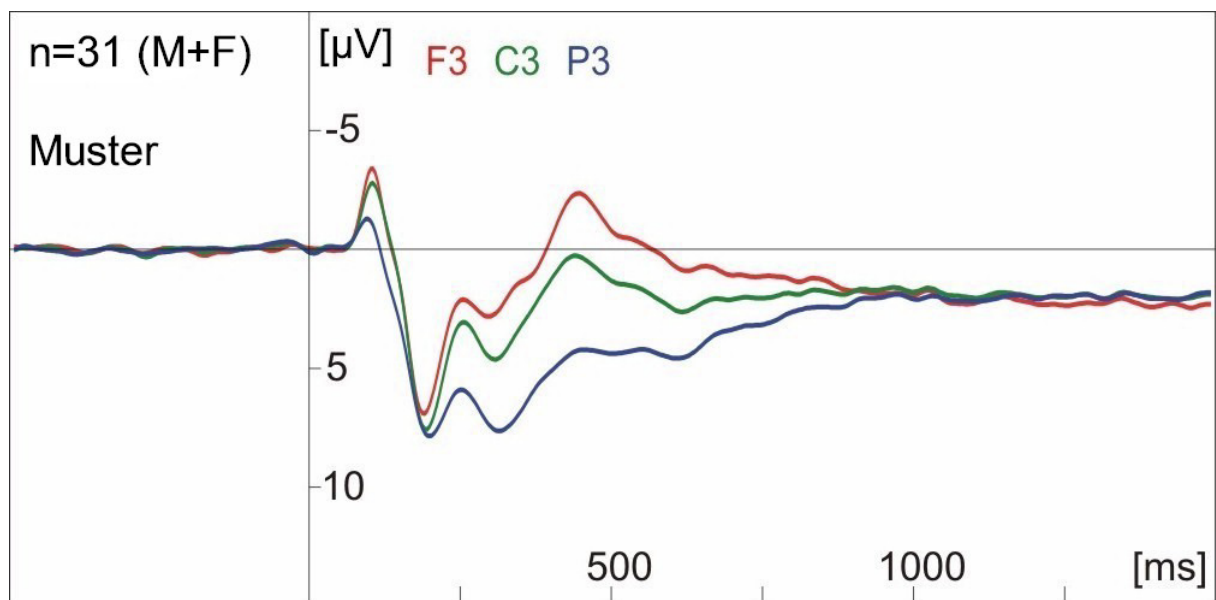
7.1. Ergebnisdaten

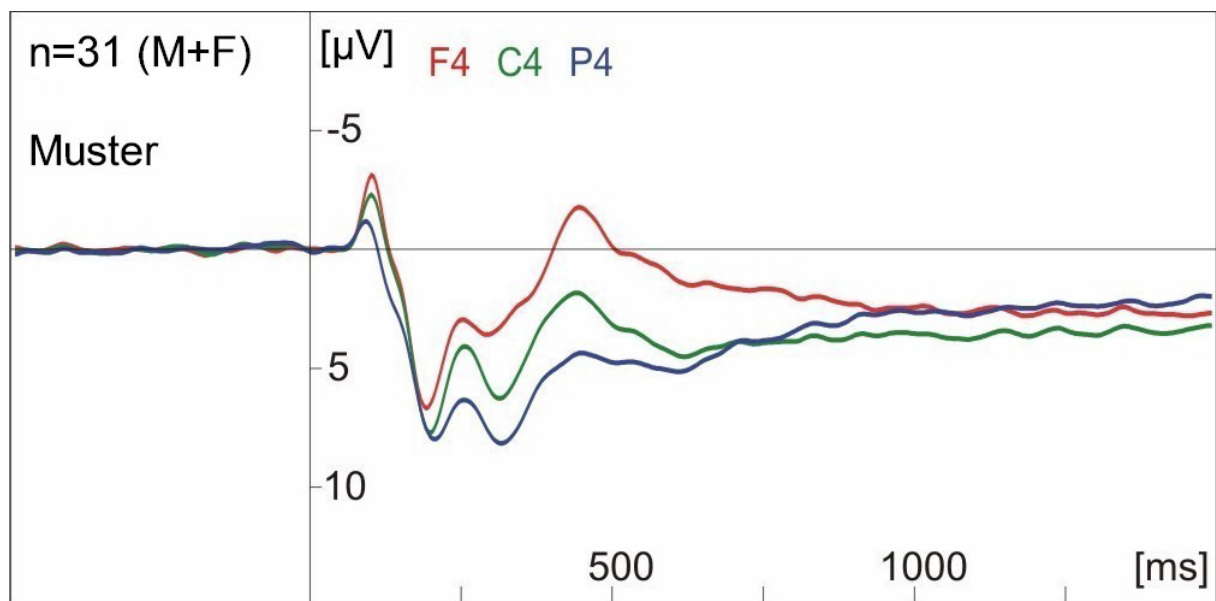
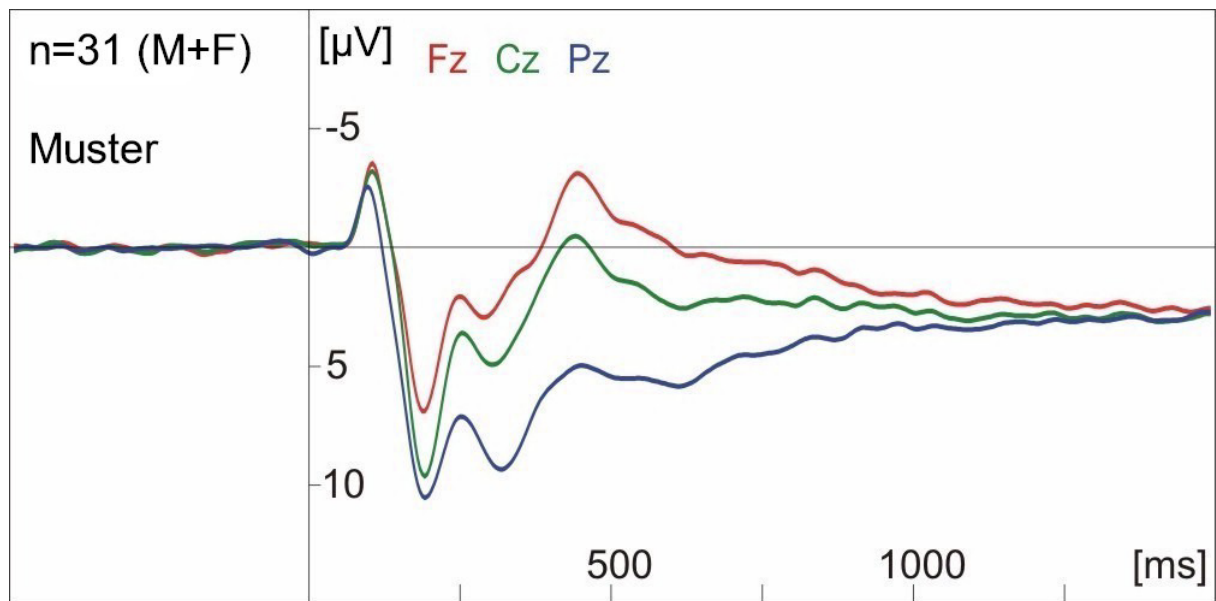
7.1.1. Abbildung 4.1.



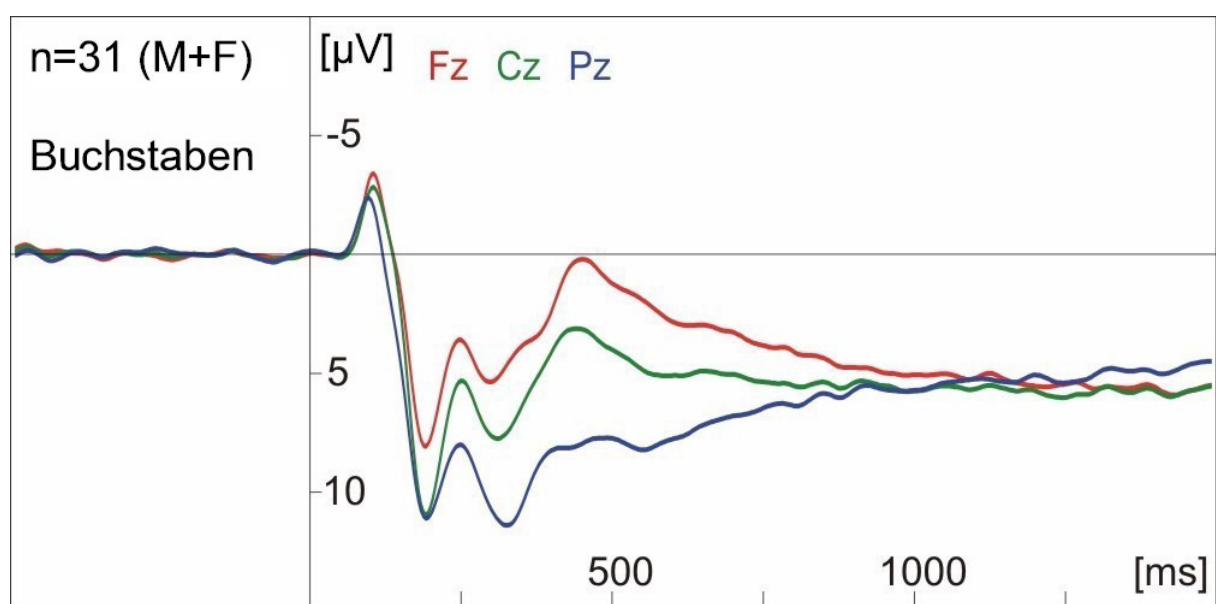
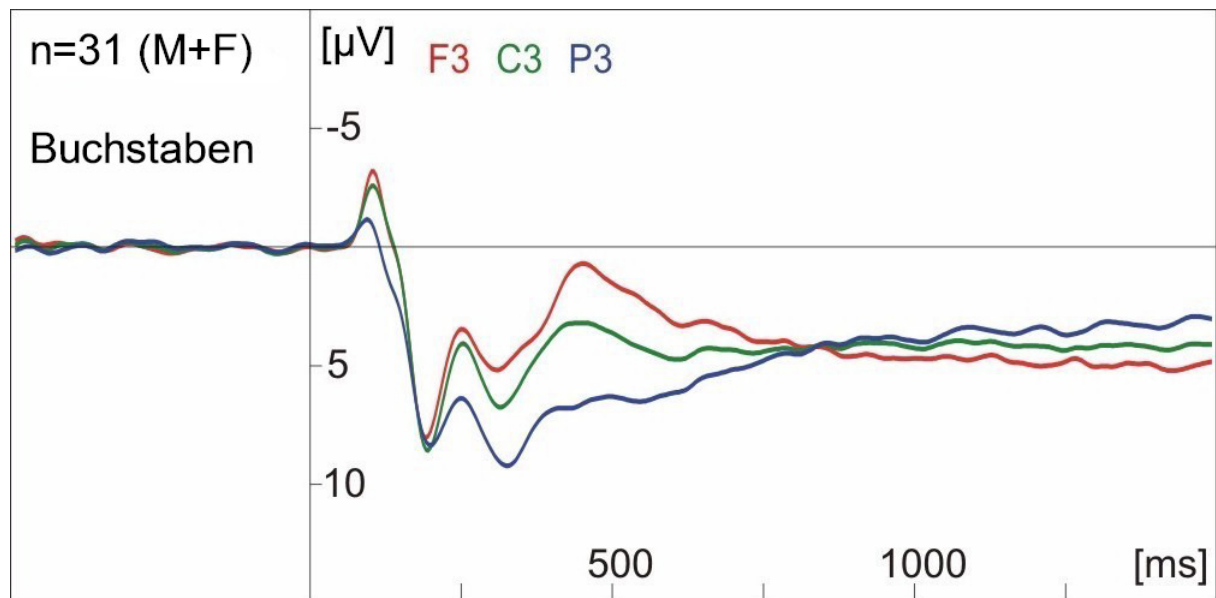


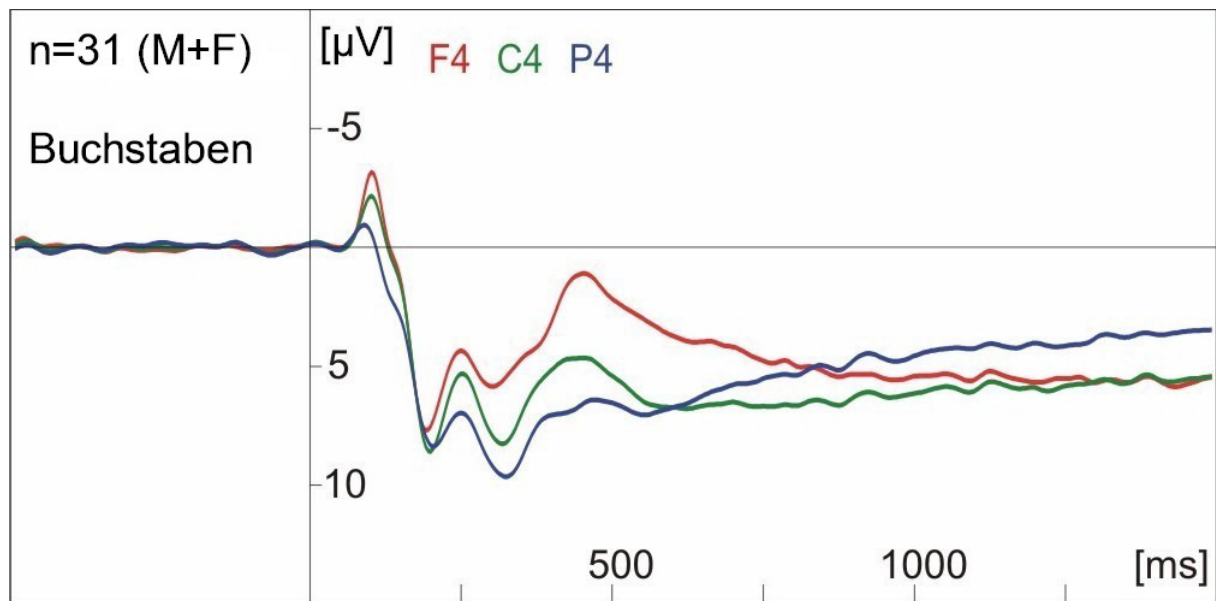
7.1.2. Abbildung 4.2.



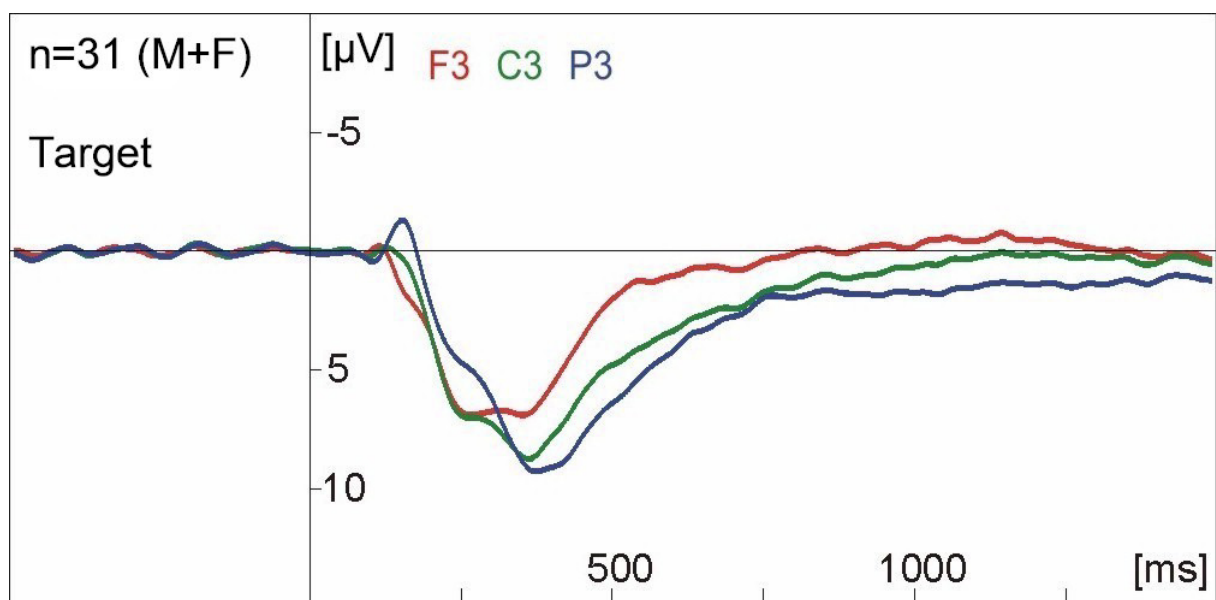


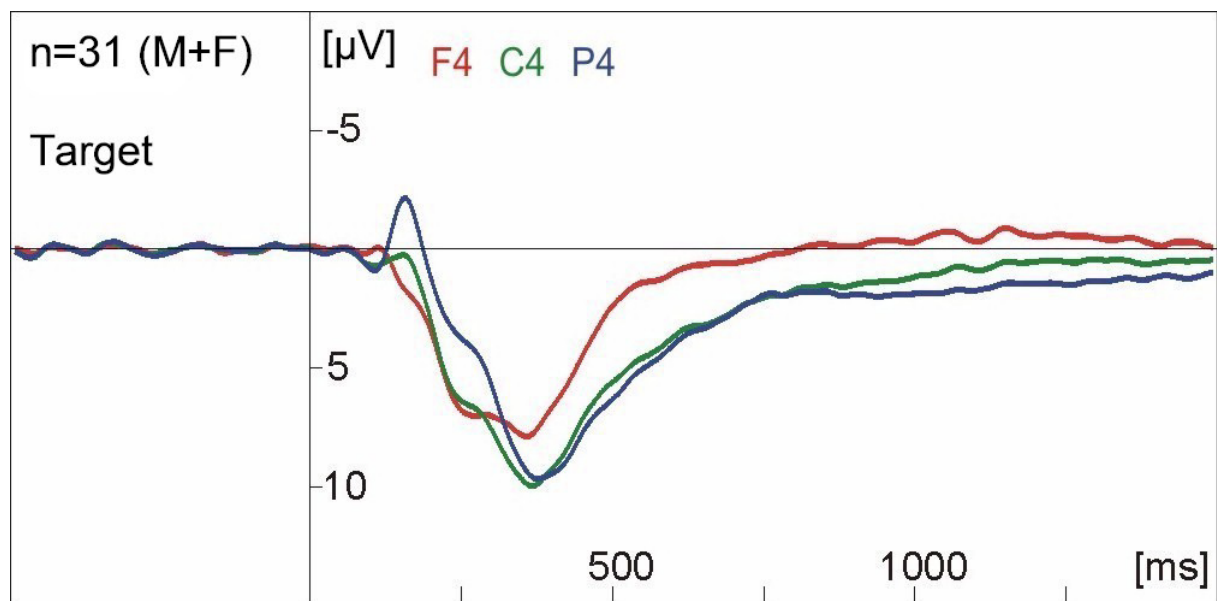
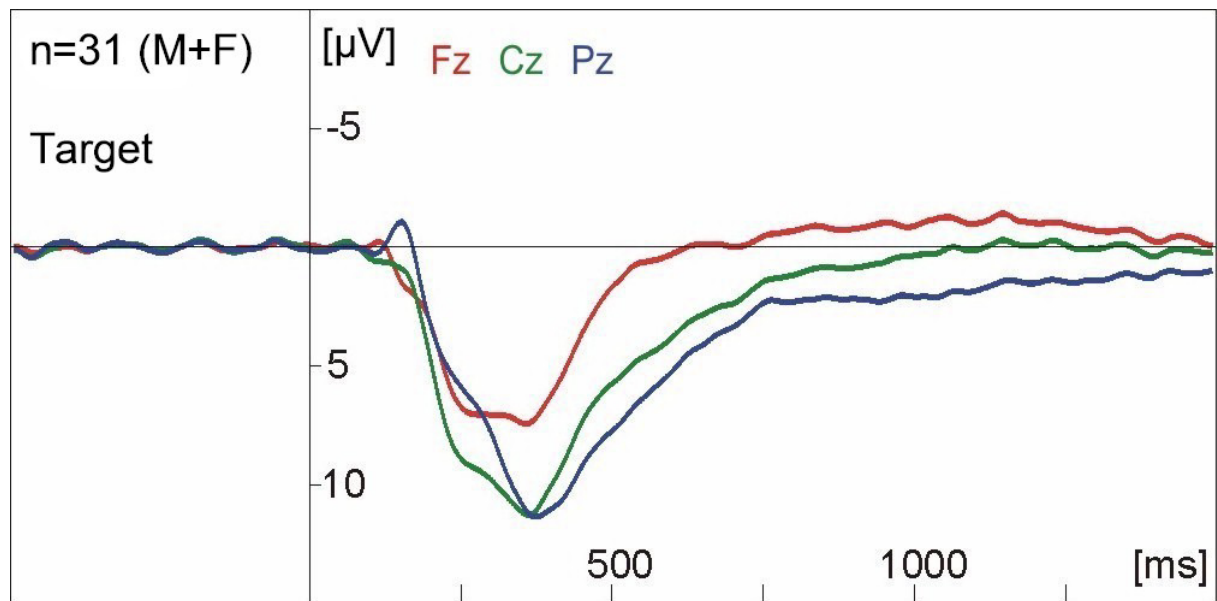
7.1.3. Abbildung 4.3.



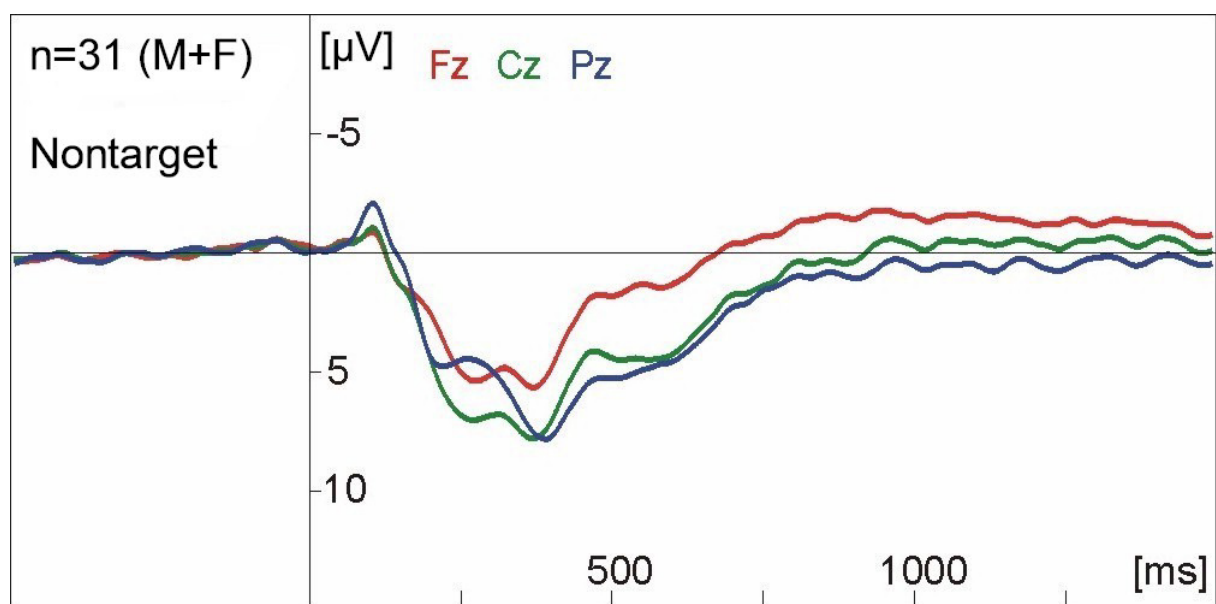
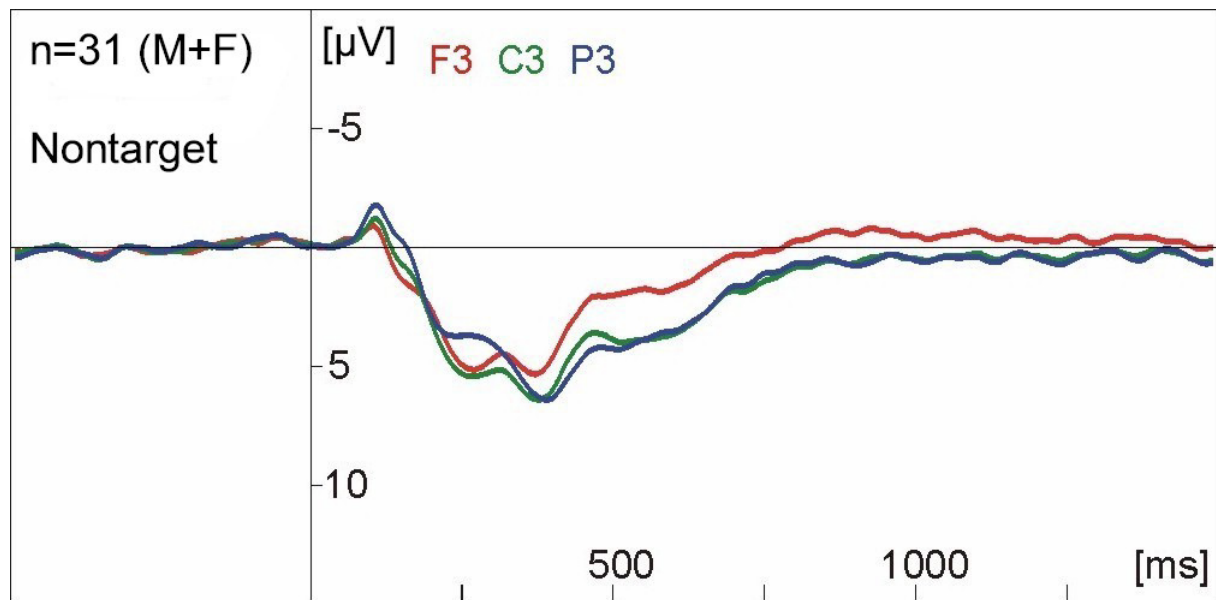


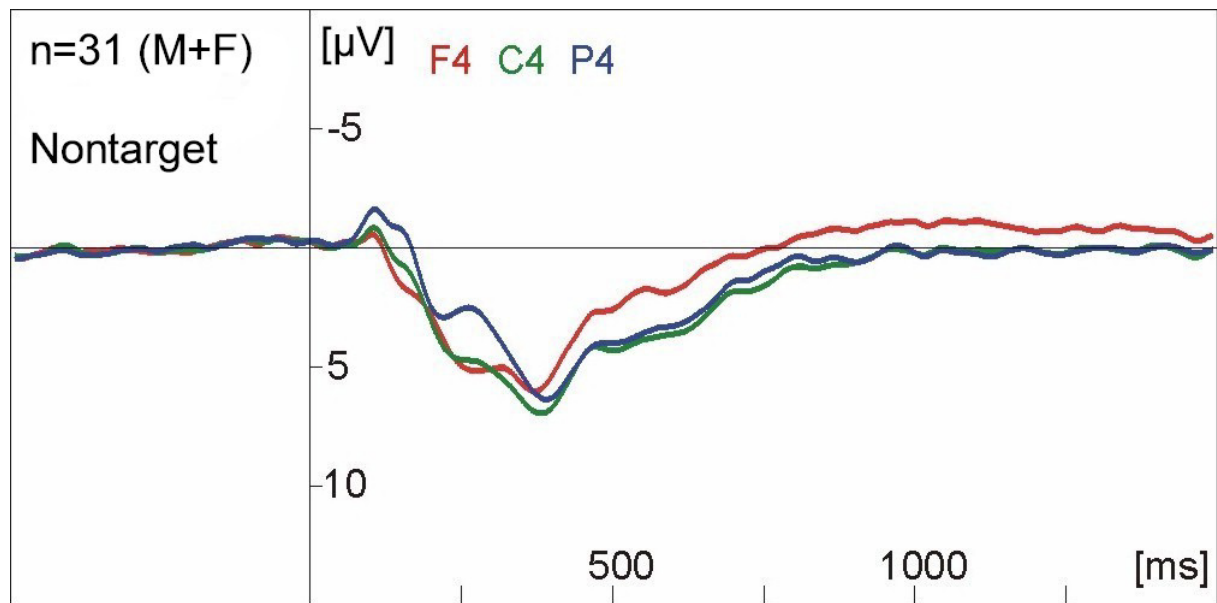
7.1.4. Abbildung 4.4.



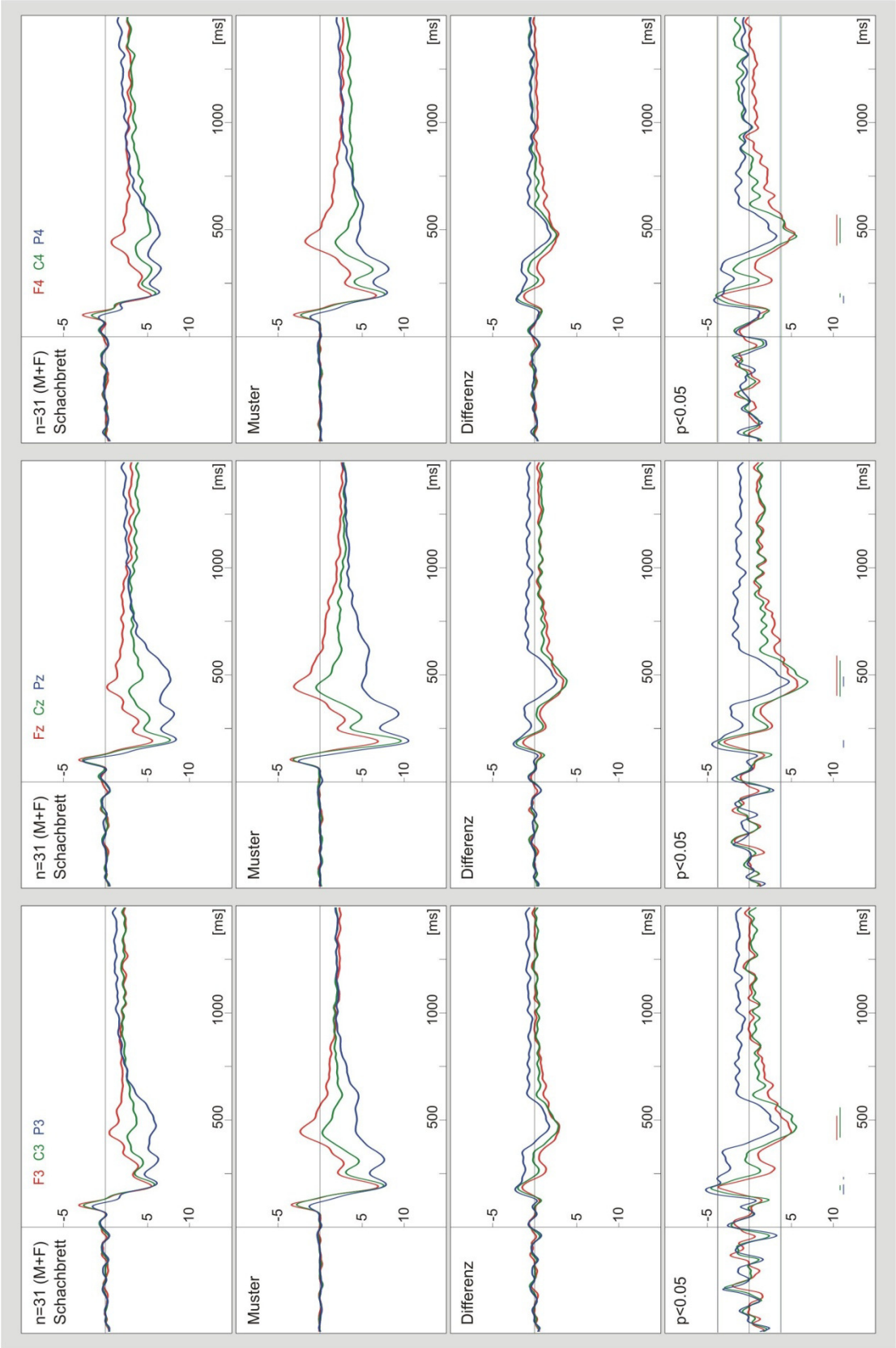


7.1.5. Abbildung 4.5.

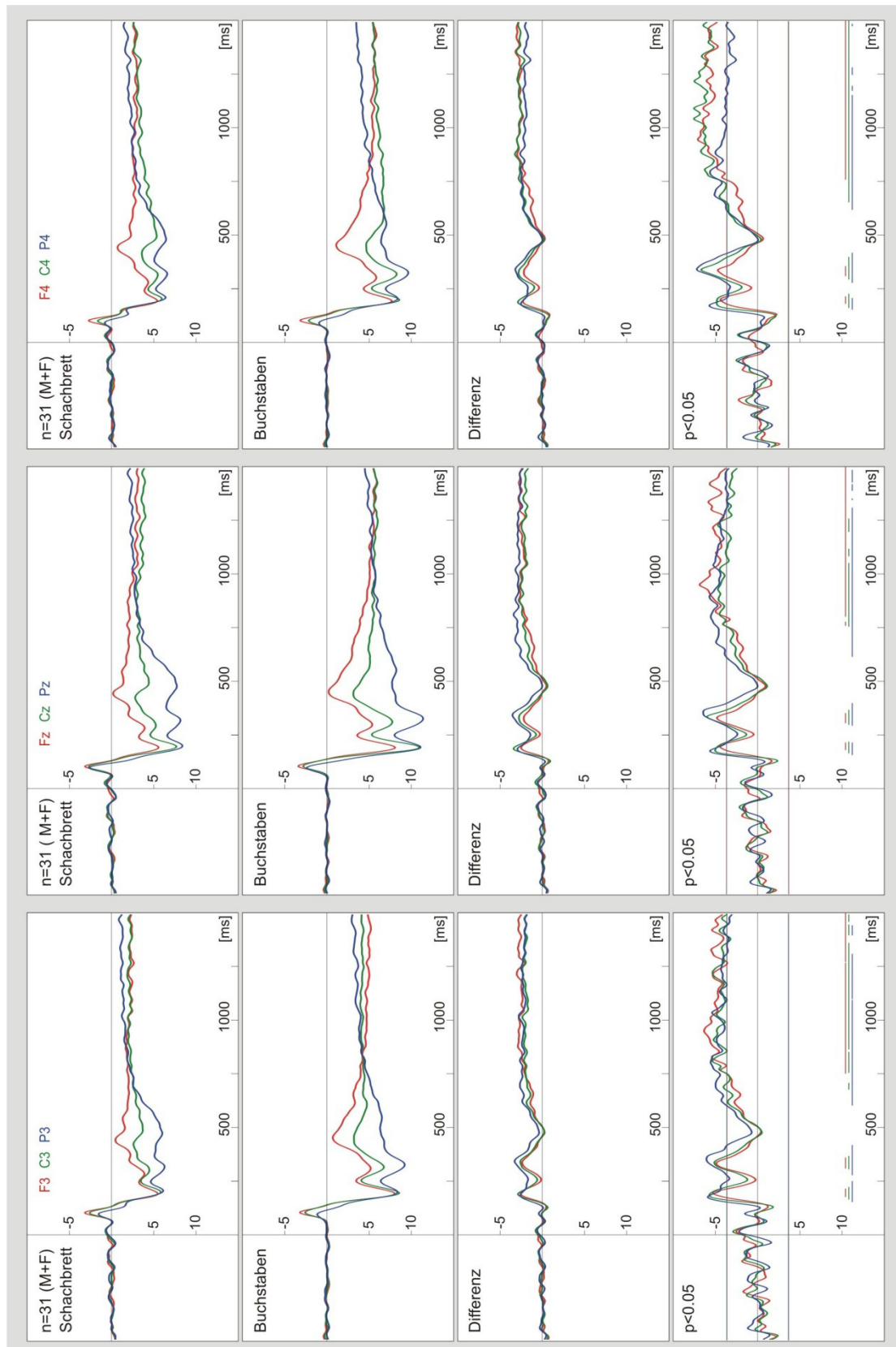




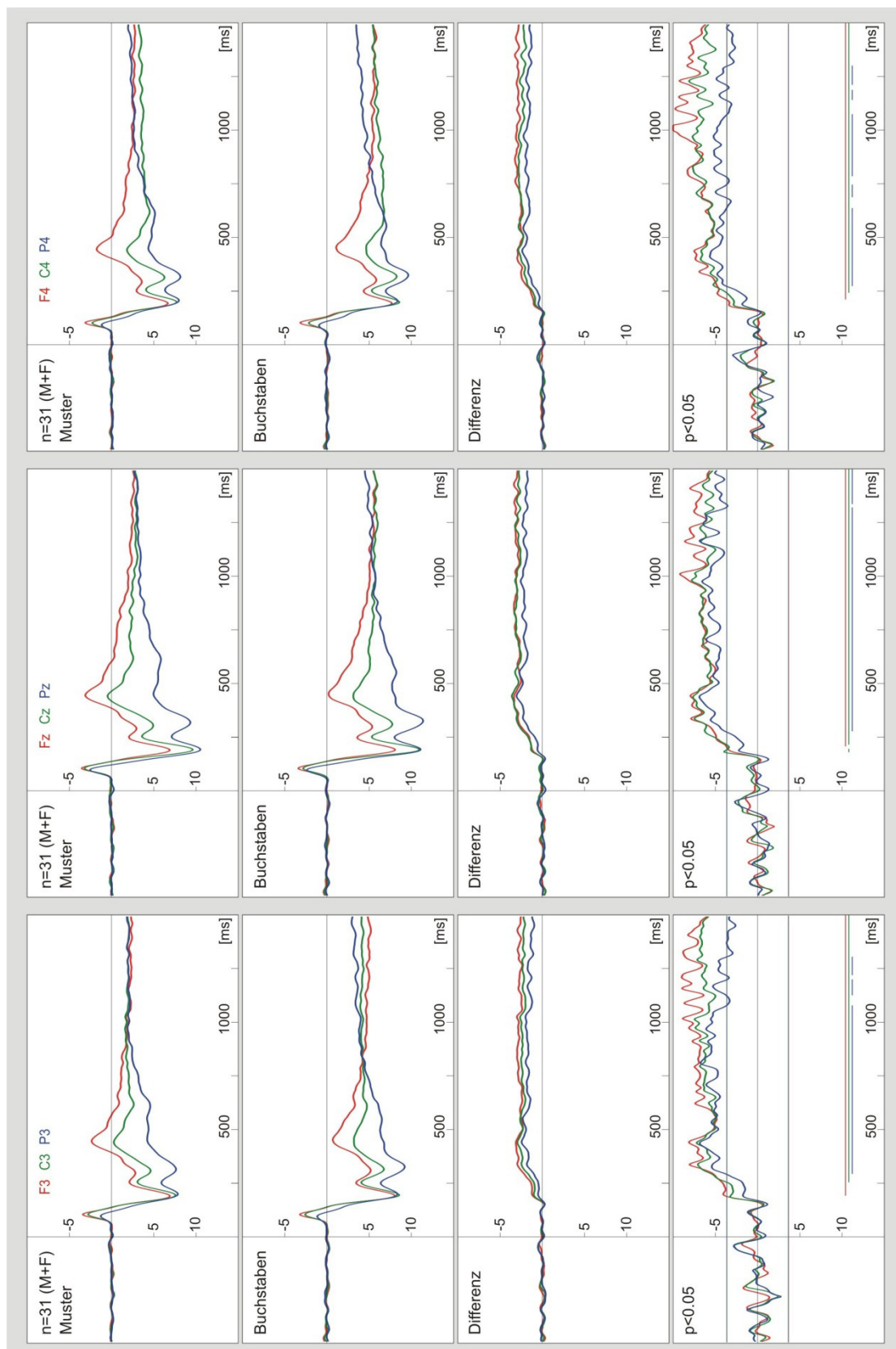
7.1.6. Abbildung 4.6.



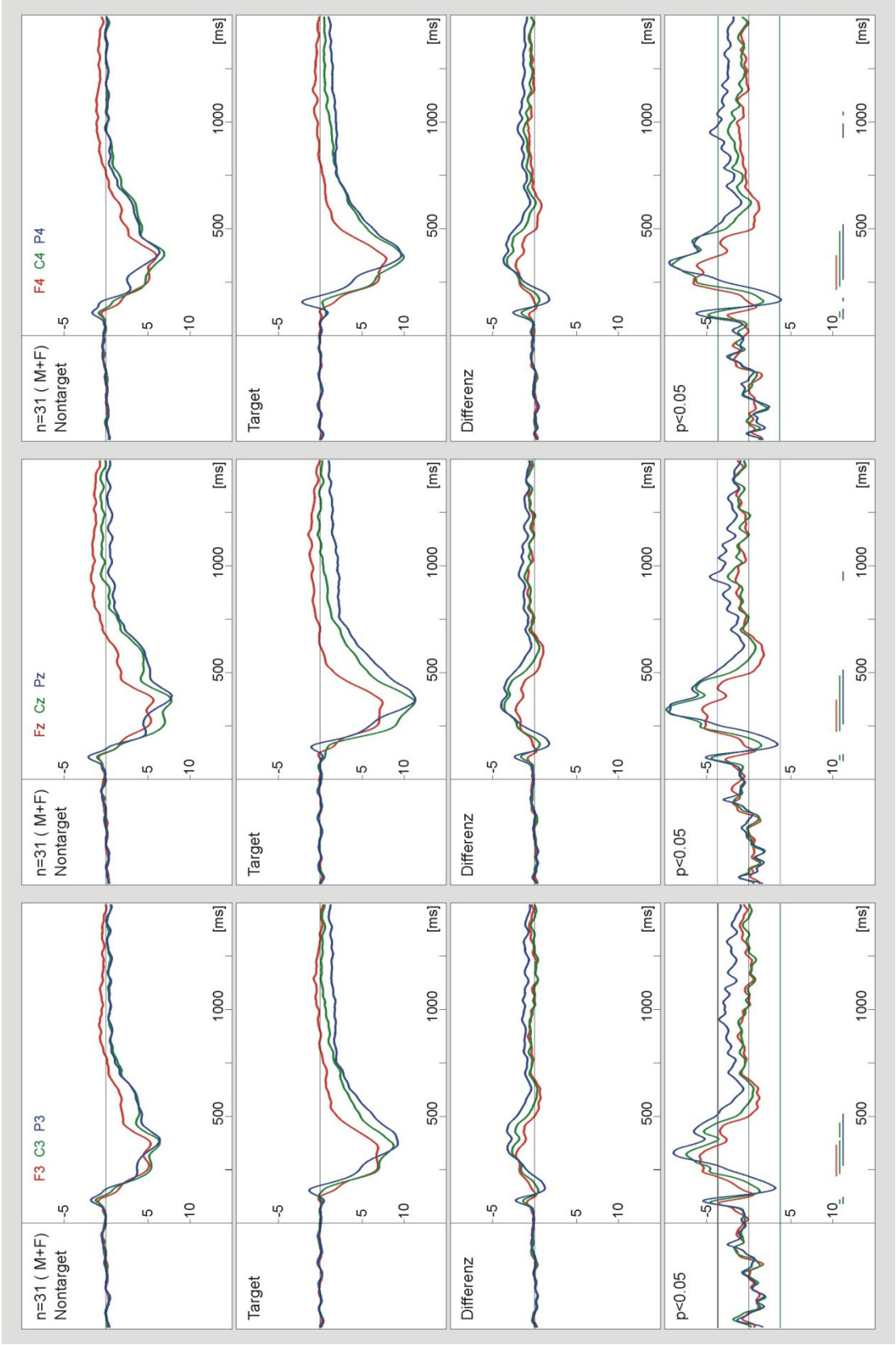
7.1.7. Abbildung 4.7.



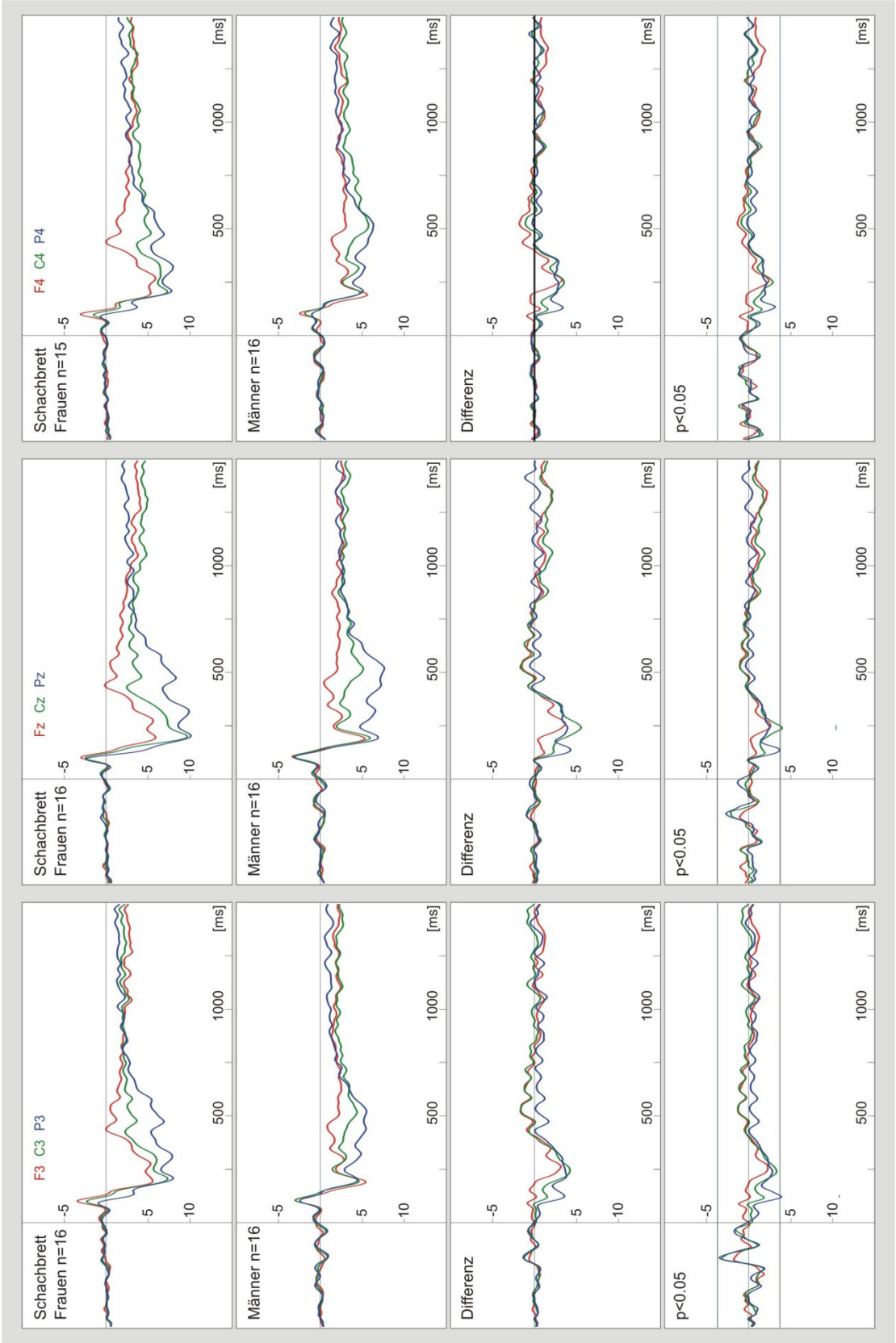
7.1.8. Abbildung 4.8.



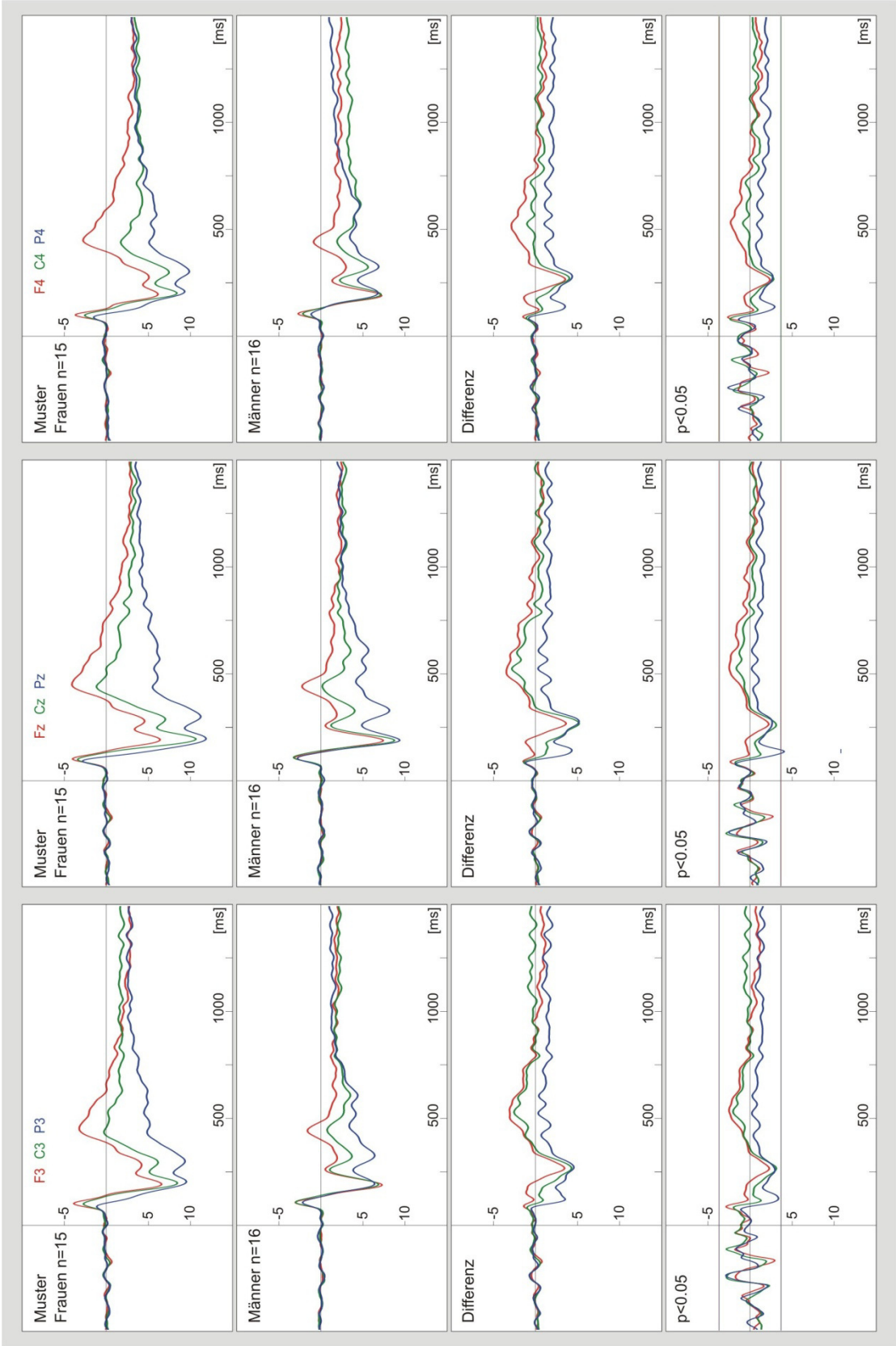
7.1.9. Abbildung 4.9.



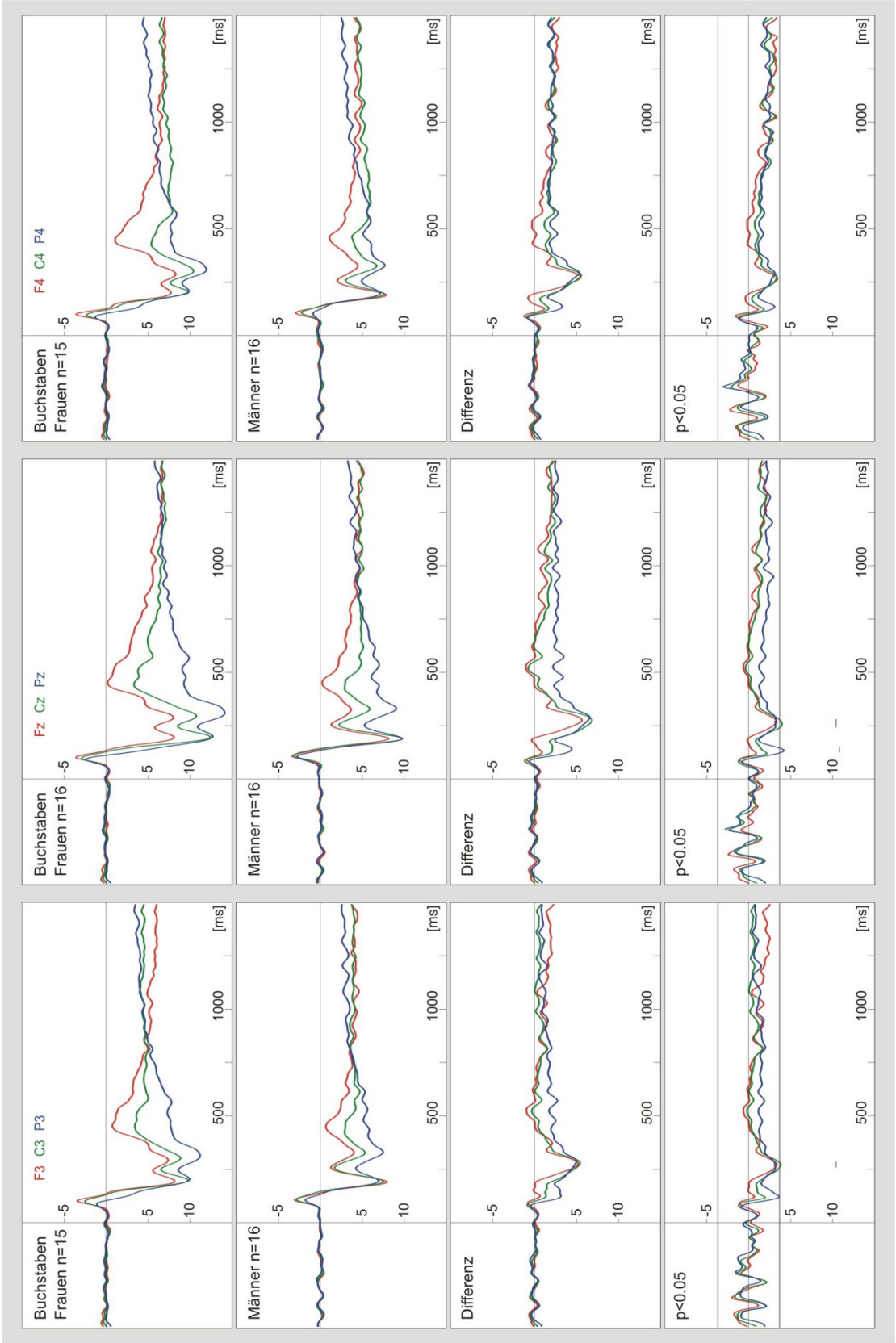
7.1.10. Abbildung 4.10.



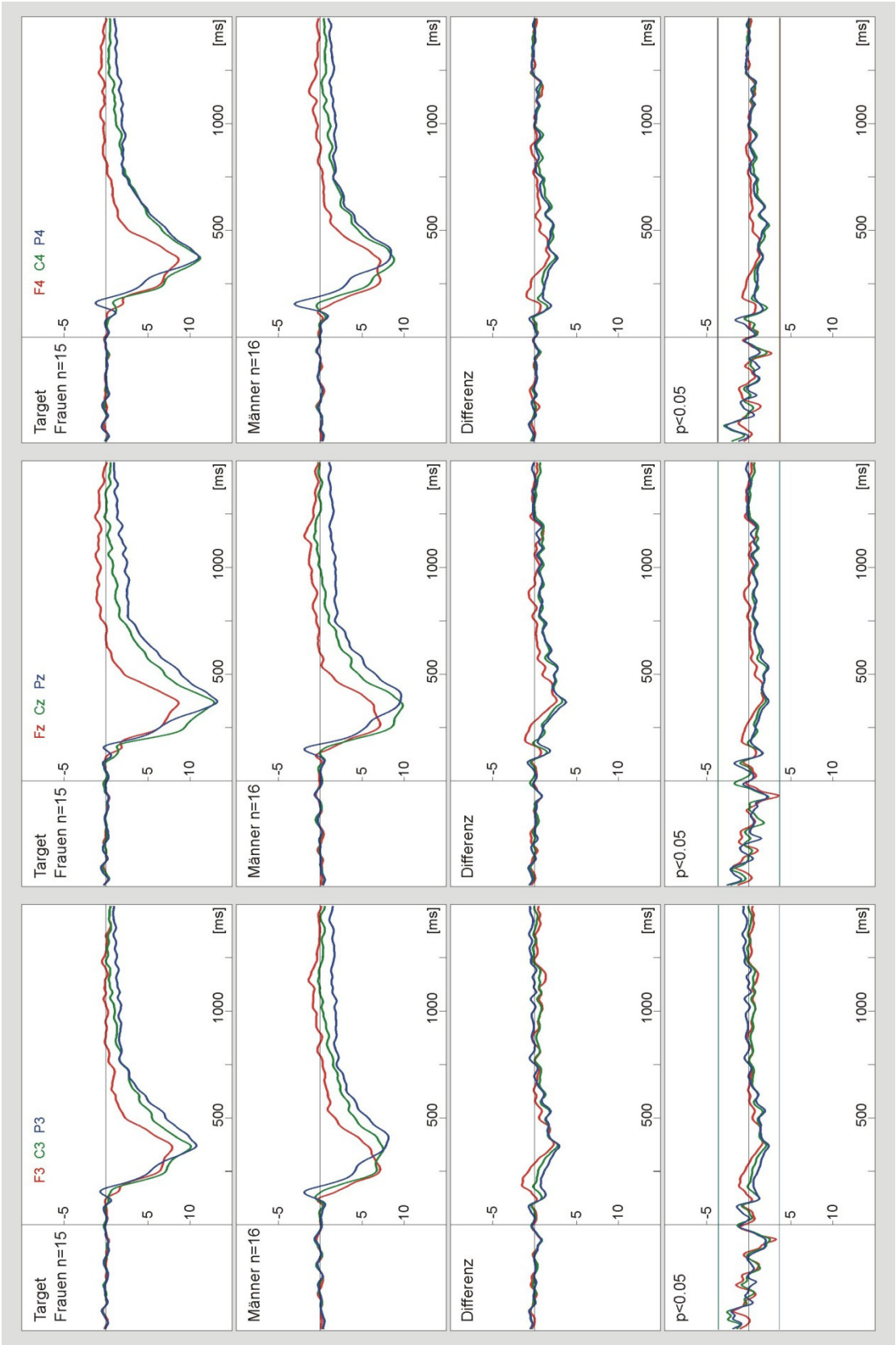
7.1.11. Abbildung 4.11.



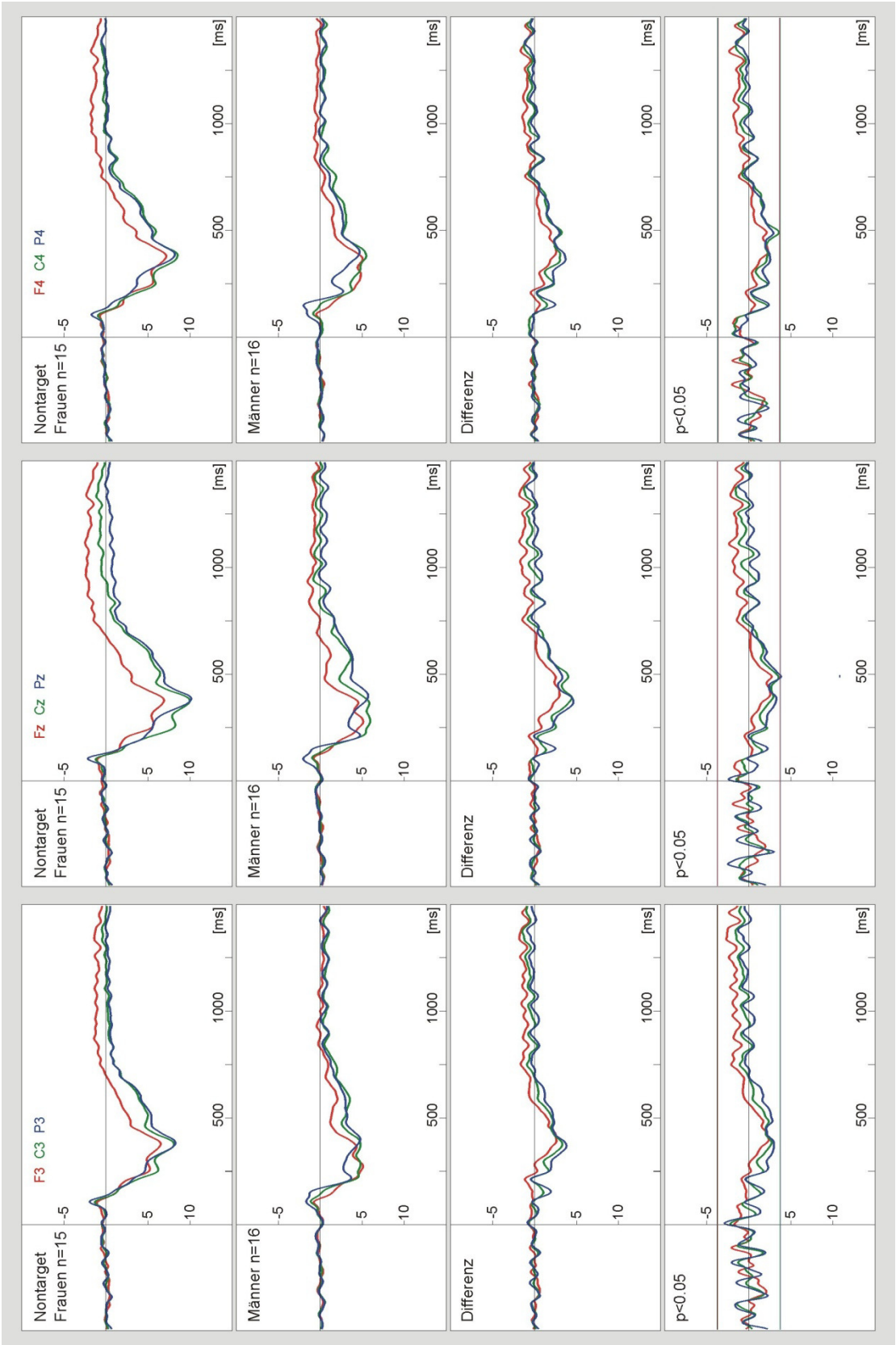
7.1.12. Abbildung 4.12.



7.1.13. Abbildung 4.13.



7.1.14. Abbildung 4.14.



7.2. Formulare

7.2.1. Aufklärung

<p>Universitätsklinikum der Saarlandes Klinik für Psychiatrie und Psychotherapie 66421 Homburg/Saar</p>	<p>Datum _____</p>
<p>Sehr geehrte(r) Frau /Herr _____</p> <p>ergänzend zu der mündlichen Information möchte ich Ihnen hier noch einmal das Ziel und den Ablauf der geplanten Untersuchung vorstellen.</p> <p>Ziel dieser Untersuchung ist es, bestimmte Funktionen des Gehirns genauer zu untersuchen, um dadurch zusätzliche Informationen über seelische Erkrankungen und über die Auswirkungen der Behandlung auf die Leistung des Gehirns zu erhalten.</p> <p>Die Untersuchung läuft ähnlich ab wie eine einfache EEG-Untersuchung, sie ist daher völlig ungefährlich und ohne jedes Risiko für Sie.</p> <p>Im Unterschied zu einer EEG-Untersuchung werden Ihnen bei dieser Untersuchung verschiedene Bilder gezeigt, die sie betrachten sollen.</p> <p>Dabei wird das EEG aufgezeichnet und später mit einem Computer ausgewertet. Die gesamte Untersuchung dauert knapp eine Stunde, es sind kurze Pausen vorgesehen.</p> <p>Wenn Sie weitere Fragen haben, werden wir Ihnen diese gerne beantworten.</p> <p>Für Patienten</p> <p>Die Untersuchung dient vorwiegend einem wissenschaftlichen Zweck; sie soll unser Wissen über seelische Erkrankungen und deren Behandlung verbessern. Die Ergebnisse dieser Untersuchung werden deshalb noch nicht Ihnen direkt zugutekommen können. Je besser wir aber seelische Erkrankungen verstehen lernen und die Folge der Behandlung genauer kennen, umso besser werden wir langfristig helfen können.</p> <p>Wichtig für Sie: Sie können jederzeit und ohne jeglichen Nachteil Ihre Zustimmung zu dieser Untersuchung zurückziehen</p> <div style="text-align: center; margin: 10px 0;"></div> <p>PD Dr. med. G. Heinz Leitender Oberarzt der Klinik</p> <hr style="border: 0.5px solid black; margin: 10px 0;"/> <p>Ich habe den Text gelesen und bin über das Ziel und den Ablauf der Untersuchung informiert. Ich weiß, dass ich jederzeit und ohne Nachteil die Zustimmung zu dieser Untersuchung zurückziehen kann und nehme freiwillig daran teil.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 20px;"><div>Datum: _____</div><div>Unterschrift: _____</div></div>	

7.2.2. Datenblatt

Basisdaten	
Name	_____
Vorname	_____
Pb.-Nr.	_____
Geburtsdatum	_____
Händigkeit	_____
Schulabschluss	_____
Schuljahre	_____
Berufsausbildung	_____
Schulbildung Vater	_____
Schulbildung Mutter	_____
Grunderkrankungen	_____
Medikamente	_____
Drogen	_____
Alkohol	_____

7.2.3. Fragebogen zur Händigkeit

<u>Fragebogen zur Händigkeit</u>		
Familienname:	Vorname:	
Geburtsdatum:	Geschlecht: m w	
<p>Bitte kennzeichnen Sie durch Ankreuzen (+) mit welcher Hand Sie die unten-stehenden Tätigkeiten durchführen. Setzen Sie zwei Kreuze (++) in das entsprechende Kästchen, wenn Sie die Tätigkeit nur mit einer Hand ausführen können; und es mit der anderen Hand nur versuchen würden, wenn man Sie dazu auffordern würde. Wenn Sie sich bei einer Antwort nicht im Klaren sind, kreuzen Sie .beide Kästchen an. Bitte versuchen Sie alle Fragen zu beantworten, und lassen Sie das Kästchen, nur frei, wenn Sie mit der gefragten Tätigkeit keinerlei Erfahrung haben.</p>		
	<u>Rechts</u>	<u>Links</u>
1. Mit welcher Hand schreiben Sie?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Mit welcher Hand zeichnen Sie?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Mit welcher Hand werfen Sie (z.B. einen Ball)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Mit welcher Hand halten Sie eine Schere?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Welche Hand hält die Zahnbürste beim Zähneputzen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. In welcher Hand halten Sie das Messer, wenn Sie keine Gabel benutzen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. Welche Hand hält den Löffel?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. Welche Hand umfasst beim Kehren das obere Stielende des Besens?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. Mit welcher Hand entzünden Sie ein Streichholz?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. Welche Hand hebt den Deckel beim Öffnen einer Schachtel?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

7.2.4. Ergebnisdokumentation

Patientennummer: _____	Untersuchungsdatum: _____
Studie: _____	
Name: _____	Vorname: _____
Geburtsdatum: _____	
Bemerkungen: _____ _____	
<u>Ergebnis</u>	
Bewert	
_____ von 10 Buchstaben korrekt erkannt	_____ (Fehler)
Buchstaben werden zusätzlich in SW-Muster interpretiert:	_____ x
Bemerkungen: _____ _____	
VIS:	1. Durchlauf:
	T: _____ gezählt: _____
	NT: _____ Summe T-T/NT insg: _____
	T/NT: _____
VIS:	2. Durchlauf:
	T: _____ gezählt: _____
	NT: _____ Summe T-T/NT insg: _____
	T/NT: _____
Bemerkungen: _____ _____	

8. Danksagung

- Herzlicher Dank gilt meiner Familie: meinen Eltern Ursula und Wolfgang Lerch, meinem Ehemann Jochen Maurer, meinen Brüdern sowie allen, auf die ich mich immer verlassen kann.
- Bedanken möchte ich mich bei dem Direktor der Klinik, Herrn Prof. Dr. Matthias Riemenschneider und dem ehemaligen Direktor Herrn Prof. Dr. Peter Falkai für die Möglichkeit dieser Arbeit sowie bei Herrn Privatdozent Dr. Günter Heinz für die Betreuung.
- Ein besonderer Dank richtet sich an Frau Mirjam Schnur und Herrn Dipl. Phys. Mathias Rubly für ihre stete Hilfsbereitschaft und Geduld.
- Dankeschön an alle meine bereitwilligen Probanden.
- Für die vielen hilfreichen Hinweise und Anregungen sowie die Unterstützung beim Erstellen der Grafiken danke ich meinem Vater und meinem Ehemann besonders.
- Vielen Dank für die Prägung meines medizinischen Weges an Doc Schmidt, Suzan und Andreas.

Vor allem danke ich GOTT, der alles Begreifen übersteigt.

9. Lebenslauf

Persönliches:

- Name: Sarah Katharina Lerch
- Geboren: 23. September 1982 in Saarbrücken
- Familienstand: verheiratet
- Staatsangehörigkeit: deutsch
- Konfession: römisch-katholisch

Ausbildung und Studium:

- 08/1989 – 06/2002:
Besuch der Freien Waldorfschule Saar-Pfalz in Bexbach, Abitur
- 07/2002 – 09/2003:
Ausbildung zur Rettungssanitäterin, Freiwilliges Soziales Jahr im Rettungsdienst
- 10/2003 – 10/2004:
Studium der Psychologie an der Universität des Saarlandes
- 10/2004 – 11/2010:
Studium der Humanmedizin an der Universität des Saarlandes
 - 08/2006: Erster Abschnitt der Ärztlichen Prüfung
 - Famulaturen:
 - Medizinische Klinik für Kardiologie und Pulmologie der Charité Berlin, Campus Benjamin Franklin
 - St. Josef-Krankenhaus Zell an der Mosel im Fachbereich Innere Medizin
 - Praxis für Allgemeinmedizin und Chirurgie Karst in Saarbrücken
 - Marienkrankenhaus St. Wendel im Fachbereich für Psychiatrie und Psychotherapie
 - 08/2009 – 07/2010: Praktisches Jahr im Knappschafts Krankenhaus Sulzbach
 - 11/2010: Ärztliche Prüfung und Approbation
- 01/2011 – 12/2011:
Assistenzärztin der Chirurgie im Knappschafts Krankenhaus Sulzbach
- Seit 01/2012:
Assistenzärztin der Geriatrie der SHG-Kliniken Sonnenberg